

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-321805

(43)Date of publication of application : 03.12.1996

(51)Int.Cl. H04B 10/02
H04B 10/18

(21)Application number : 07-181929

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 18.07.1995

(72)Inventor : ISHIKAWA JOJI
NISHIMOTO HIROSHI
TOMOFUJI HIROAKI
OOI HIROMI
SEKIYA MOTOYOSHI

(30)Priority

Priority number : 06181013
07 59295Priority date : 02.08.1994
17.03.1995

Priority country : JP

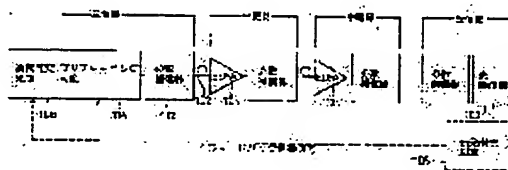
JP

(54) LIGHT TRANSMISSION SYSTEM, LIGHT MULTIPLEX TRANSMISSION SYSTEM AND ITS PERIPHERAL TECHNOLOGY

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide technology for optimizing a transmission condition for realizing large capacity transmission and to obtain peripheral technology for the practical use of light multiplex for realizing large capacity transmission.

CONSTITUTION: A transmission characteristic measuring part 105 measures a transmission characteristic. A signal light wavelength on a wavelength variable light source 106 is controlled, prechirping quantity is controlled (114), distribution compensation quantity is controlled and/or optical power is controlled for making the transmission characteristic to be the best. Non-linear effect is reduced by compulsorily distributing the wavelength by a distribution compensator 112. The signal light wavelength is optimized at every light amplification repeating section by arranging a wavelength variable laser. For realizing light multiplex, the peripheral technology of drift compensation, clock extraction, the recognition of a light signal channel and the stabilization of a clock phase can be obtained.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

18.01.2002

[Date of sending the examiner's decision of

rejection]

[Kind of final disposal of application other than
the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

特開平8-321805
14
(6) * 電圧制御発振器を制御する制御電圧を生成する位相補脚部を含む請求項12記載の光受信機。
【請求項132】 前記位相補脚部は、前記光スイッチで分離された光信号の1つを電気信号に変換する受光素子と、所定の周波数の信号を出力する発振器と、前記発振器の出力で受光素子の出力を位相比較する同期検波回路と、前記同期検波回路の出力を所定の周波と比較する比較器と、
【請求項133】 前記位相補脚部は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項132記載の光受信機。
【請求項134】 前記比較器は前記信号に従って比較結果を反転して出力する請求項132記載の光受信機。
【請求項135】 前記光時分割多重信号に重畳された前記低周波成分を検出して前記低周波信号検出回路と、前記低周波信号検出回路の出力レベルと所定の基準値とを比較し、基準値以下であるときアラーム信号を出力する比較器をさらに具備する請求項131~134のいずれか1項記載の光受信機。
【発明の詳細な説明】
【0001】
【発明の属する技術分野】 本発明は光伝送システム及びその関連技術、特に、大容量伝送のために伝送条件を最適化された伝送路を有する光伝送システム、及び大容量の伝送を可能にするための光時分割多重 (Optical Time Division Multiplexing: OTM) 等の光多波長技術が採用された光伝送システムとその実現のための関連技術に関する。
【0002】
【従来の技術】 伝送速度の増加とともに、光ファイバの群速度分散 (Group-velocity dispersion: GVD) による波形劣化のために、伝送速度が厳しく制限される。さらに、伝送速度が増加すると送受レベル差を確保するために、送信光パワーを増加させる必要がある。そうすると、ファイバ非線形効果である自己位相変調 (Self-phase modulation: SPM) 効果の影響が大きくなり、群速度分散との相互作用 (SPM-GVD効果) のために、波形劣化がより顕著になる。
【0003】 この SPM-GVD 効果による波形劣化は、支配的な場合、ほぼ次のようなスケール関数で成立する。
DB² P₀ L² = const. (1)
D: 分散係数 (ps²/km)
DB: 伝送速度 (Gbps/s)
13
【請求項13】 前記位相補脚部は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項12記載の光受信機。
【請求項130】 前記タイミング再生部は、抽出したクロック成分のレベルを検出するレベル検出器と、
【請求項129】 前記比較器は前記信号に従って比較結果を反転して出力する請求項127記載の光受信機。
【請求項128】 前記位相補脚部は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項127記載の光受信機。
【請求項127】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項126記載の光受信機。
【請求項126】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項125記載の光受信機。
【請求項125】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項124記載の光受信機。
【請求項124】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項123記載の光受信機。
【請求項123】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項122記載の光受信機。
【請求項122】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項121記載の光受信機。
【請求項121】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項120記載の光受信機。
【請求項120】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項119記載の光受信機。
【請求項119】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項118記載の光受信機。
【請求項118】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項117記載の光受信機。
【請求項117】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項116記載の光受信機。
【請求項116】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項115記載の光受信機。
【請求項115】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項114記載の光受信機。
【請求項114】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項113記載の光受信機。
【請求項113】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項112記載の光受信機。
【請求項112】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項111記載の光受信機。
【請求項111】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項110記載の光受信機。
【請求項110】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項109記載の光受信機。
【請求項109】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項108記載の光受信機。
【請求項108】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項107記載の光受信機。
【請求項107】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項106記載の光受信機。
【請求項106】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項105記載の光受信機。
【請求項105】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項104記載の光受信機。
【請求項104】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項103記載の光受信機。
【請求項103】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項102記載の光受信機。
【請求項102】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項101記載の光受信機。
【請求項101】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項100記載の光受信機。
【請求項100】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項99記載の光受信機。
【請求項99】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項98記載の光受信機。
【請求項98】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項97記載の光受信機。
【請求項97】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項96記載の光受信機。
【請求項96】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項95記載の光受信機。
【請求項95】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項94記載の光受信機。
【請求項94】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項93記載の光受信機。
【請求項93】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項92記載の光受信機。
【請求項92】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項91記載の光受信機。
【請求項91】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項90記載の光受信機。
【請求項90】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項89記載の光受信機。
【請求項89】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項88記載の光受信機。
【請求項88】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項87記載の光受信機。
【請求項87】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項86記載の光受信機。
【請求項86】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項85記載の光受信機。
【請求項85】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項84記載の光受信機。
【請求項84】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項83記載の光受信機。
【請求項83】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項82記載の光受信機。
【請求項82】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項81記載の光受信機。
【請求項81】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項80記載の光受信機。
【請求項80】 前記比較器は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項79記載の光受信機。
【請求項79】 前記比較器は、前記受光素子

(11) 特開平8-321805

19 可成でない場合は、光増幅器16を省略することも可能であり、その場合は光増幅器11と光受光部12との間は光ファイバ13のみによって接続される。波長可変光源14は、光ファイバ13の長さ方向に沿った部分放光長の隔らぎが存在する場合、又は製造上の良の良の光ファイバ13の受分放光長の隔らぎが存在する場合、例えば、光増幅器11と光受光部12との間の全長にわたって、部分放光長の隔らぎ又ははらつきの平均値を求め、それを発光波長とするように調整される。なお、前述するように、伝送特性を最良にする層厚が必ずしも等分放光長であるとは限らない。

【0022】希土類ドーピング光ファイバ増幅器により光増幅を增幅して光ファイバ13の長距離伝送を行う場合に、導光長の波長が光ファイバ13の受分放光長の近傍で等分放光長であるとき、導光光と自然放光との間で四波混合(four-wave mixing: fwm)が生じ、波長不安定性により、自然放光が増幅され、S/Nが劣化するのを防止するため、光ファイバ13の部分放光長の近傍を避け、且つ正常放光領域に発光波長を調整する。

【0023】長距離伝送システムの場合、光増幅器16、17を設ける場合が一般的である。この光増幅器16、17は光増幅を增幅すると共に自然放光が発生するため、受光部18の前段にフィルタを設けることが望ましく、それが通過波長特性の調整が可能な波長可変フィルタ15であることがさらに望ましい。その場合には、光増幅器11の波長可変光源14の発光波長を前述のように調整するとき、その発光波長に合せて波長可変フィルタ15の通過波長特性を調整することにより、伝送特性を更に改善することができ。

【0024】図3は本発明に係る光増幅器16の構成図である。図3において、30は中継器の例のプロック図である。30は光増幅器31、32、33、34、35、36、37、38、39、40、41、42、43、44、45、46、47、48、49、50、51、52、53、54、55、56、57、58、59、60、61、62、63、64、65、66、67、68、69、70、71、72、73、74、75、76、77、78、79、80、81、82、83、84、85、86、87、88、89、90、91、92、93、94、95、96、97、98、99、100、101、102、103、104、105、106、107、108、109、110、111、112、113、114、115、116、117、118、119、120、121、122、123、124、125、126、127、128、129、130、131、132、133、134、135、136、137、138、139、140、141、142、143、144、145、146、147、148、149、150、151、152、153、154、155、156、157、158、159、160、161、162、163、164、165、166、167、168、169、170、171、172、173、174、175、176、177、178、179、180、181、182、183、184、185、186、187、188、189、190、191、192、193、194、195、196、197、198、199、200、201、202、203、204、205、206、207、208、209、210、211、212、213、214、215、216、217、218、219、220、221、222、223、224、225、226、227、228、229、230、231、232、233、234、235、236、237、238、239、240、241、242、243、244、245、246、247、248、249、250、251、252、253、254、255、256、257、258、259、260、261、262、263、264、265、266、267、268、269、270、271、272、273、274、275、276、277、278、279、280、281、282、283、284、285、286、287、288、289、290、291、292、293、294、295、296、297、298、299、300、301、302、303、304、305、306、307、308、309、310、311、312、313、314、315、316、317、318、319、320、321、322、323、324、325、326、327、328、329、330、331、332、333、334、335、336、337、338、339、340、341、342、343、344、345、346、347、348、349、350、351、352、353、354、355、356、357、358、359、360、361、362、363、364、365、366、367、368、369、370、371、372、373、374、375、376、377、378、379、380、381、382、383、384、385、386、387、388、389、390、391、392、393、394、395、396、397、398、399、400、401、402、403、404、405、406、407、408、409、410、411、412、413、414、415、416、417、418、419、420、421、422、423、424、425、426、427、428、429、430、431、432、433、434、435、436、437、438、439、440、441、442、443、444、445、446、447、448、449、450、451、452、453、454、455、456、457、458、459、460、461、462、463、464、465、466、467、468、469、470、471、472、473、474、475、476、477、478、479、480、481、482、483、484、485、486、487、488、489、490、491、492、493、494、495、496、497、498、499、500、501、502、503、504、505、506、507、508、509、510、511、512、513、514、515、516、517、518、519、520、521、522、523、524、525、526、527、528、529、530、531、532、533、534、535、536、537、538、539、540、541、542、543、544、545、546、547、548、549、550、551、552、553、554、555、556、557、558、559、560、561、562、563、564、565、566、567、568、569、570、571、572、573、574、575、576、577、578、579、580、581、582、583、584、585、586、587、588、589、590、591、592、593、594、595、596、597、598、599、600、601、602、603、604、605、606、607、608、609、610、611、612、613、614、615、616、617、618、619、620、621、622、623、624、625、626、627、628、629、630、631、632、633、634、635、636、637、638、639、640、641、642、643、644、645、646、647、648、649、650、651、652、653、654、655、656、657、658、659、660、661、662、663、664、665、666、667、668、669、670、671、672、673、674、675、676、677、678、679、680、681、682、683、684、685、686、687、688、689、690、691、692、693、694、695、696、697、698、699、700、701、702、703、704、705、706、707、708、709、710、711、712、713、714、715、716、717、718、719、720、721、722、723、724、725、726、727、728、729、730、731、732、733、734、735、736、737、738、739、740、741、742、743、744、745、746、747、748、749、750、751、752、753、754、755、756、757、758、759、760、761、762、763、764、765、766、767、768、769、770、771、772、773、774、775、776、777、778、779、780、781、782、783、784、785、786、787、788、789、790、791、792、793、794、795、796、797、798、799、800、801、802、803、804、805、806、807、808、809、810、811、812、813、814、815、816、817、818、819、820、821、822、823、824、825、826、827、828、829、830、831、832、833、834、835、836、837、838、839、840、841、842、843、844、845、846、847、848、849、850、851、852、853、854、855、856、857、858、859、860、861、862、863、864、865、866、867、868、869、870、871、872、873、874、875、876、877、878、879、880、881、882、883、884、885、886、887、888、889、890、891、892、893、894、895、896、897、898、899、900、901、902、903、904、905、906、907、908、909、910、911、912、913、914、915、916、917、918、919、920、921、922、923、924、925、926、927、928、929、930、931、932、933、934、935、936、937、938、939、940、941、942、943、944、945、946、947、948、949、950、951、952、953、954、955、956、957、958、959、960、961、962、963、964、965、966、967、968、969、970、971、972、973、974、975、976、977、978、979、980、981、982、983、984、985、986、987、988、989、990、991、992、993、994、995、996、997、998、999、1000、1001、1002、1003、1004、1005、1006、1007、1008、1009、1010、1011、1012、1013、1014、1015、1016、1017、1018、1019、1020、1021、1022、1023、1024、1025、1026、1027、1028、1029、1030、1031、1032、1033、1034、1035、1036、1037、1038、1039、1040、1041、1042、1043、1044、1045、1046、1047、1048、1049、1050、1051、1052、1053、1054、1055、1056、1057、1058、1059、1060、1061、1062、1063、1064、1065、1066、1067、1068、1069、1070、1071、1072、1073、1074、1075、1076、1077、1078、1079、1080、1081、1082、1083、1084、1085、1086、1087、1088、1089、1090、1091、1092、1093、1094、1095、1096、1097、1098、1099、1100、1101、1102、1103、1104、1105、1106、1107、1108、1109、1110、1111、1112、1113、1114、1115、1116、1117、1118、1119、1120、1121、1122、1123、1124、1125、1126、1127、1128、1129、1130、1131、1132、1133、1134、1135、1136、1137、1138、1139、1140、1141、1142、1143、1144、1145、1146、1147、1148、1149、1150、1151、1152、1153、1154、1155、1156、1157、1158、1159、1160、1161、1162、1163、1164、1165、1166、1167、1168、1169、1170、1171、1172、1173、1174、1175、1176、1177、1178、1179、1180、1181、1182、1183、1184、1185、1186、1187、1188、1189、1190、1191、1192、1193、1194、1195、1196、1197、1198、1199、1200、1201、1202、1203、1204、1205、1206、1207、1208、1209、1210、1211、1212、1213、1214、1215、1216、1217、1218、1219、1220、1221、1222、1223、1224、1225、1226、1227、1228、1229、1230、1231、1232、1233、1234、1235、1236、1237、1238、1239、1240、1241、1242、1243、1244、1245、1246、1247、1248、1249、1250、1251、1252、1253、1254、1255、1256、1257、1258、1259、1260、1261、1262、1263、1264、1265、1266、1267、1268、1269、1270、1271、1272、1273、1274、1275、1276、1277、1278、1279、1280、1281、1282、1283、1284、1285、1286、1287、1288、1289、1290、1291、1292、1293、1294、1295、1296、1297、1298、1299、1300、1301、1302、1303、1304、1305、1306、1307、1308、1309、1310、1311、1312、1313、1314、1315、1316、1317、1318、1319、1320、1321、1322、1323、1324、1325、1326、1327、1328、1329、1330、1331、1332、1333、1334、1335、1336、1337、1338、1339、1340、1341、1342、1343、1344、1345、1346、1347、1348、1349、1350、1351、1352、1353、1354、1355、1356、1357、1358、1359、1360、1361、1362、1363、1364、1365、1366、1367、1368、1369、1370、1371、1372、1373、1374、1375、1376、1377、1378、1379、1380、1381、1382、1383、1384、1385、1386、1387、1388、1389、1390、1391、1392、1393、1394、1395、1396、1397、1398、1399、1400、1401、1402、1403、1404、1405、1406、1407、1408、1409、1410、1411、1412、1413、1414、1415、1416、1417、1418、1419、1420、1421、1422、1423、1424、1425、1426、1427、1428、1429、1430、1431、1432、1433、1434、1435、1436、1437、1438、1439、1440、1441、1442、1443、1444、1445、1446、1447、1448、1449、1450、1451、1452、1453、1454、1455、1456、1457、1458、1459、1460、1461、1462、1463、1464、1465、1466、1467、1468、1469、1470、1471、1472、1473、1474、1475、1476、1477、1478、1479、1480、1481、1482、1483、1484、1485、1486、1487、1488、1489、1490、1491、1492、1493、1494、1495、1496、1497、1498、1499、1500、1501、1502、1503、1504、1505、1506、1507、1508、1509、1510、1511、1512、1513、1514、1515、1516、1517、1518、1519、1520、1521、1522、1523、1524、1525、1526、1527、1528、1529、1530、1531、1532、1533、1534、1535、1536、1537、1538、1539、1540、1541、1542、1543、1544、1545、1546、1547、1548、1549、1550、1551、1552、1553、1554、1555、1556、1557、1558、1559、1560、1561、1562、1563、1564、1565、1566、1567、1568、1569、1570、1571、1572、1573、1574、1575、1576、1577、1578、1579、1580、1581、1582、1583、1584、1585、1586、1587、1588、1589、1590、1591、1592、1593、1594、1595、1596、1597、1598、1599、1600、1601、1602、1603、1604、1605、1606、1607、1608、1609、1610、1611、1612、1613、1614、1615、1616、1617、1618、1619、1620、1621、1622、1623、1624、1625、1626、1627、1628、1629、1630、1631、1632、1633、1634、1635、1636、1637、1638、1639、1640、1641、1642、1643、1644、1645、1646、1647、1648、1649、1650、1651、1652、1653、1654、1655、1656、1657、1658、1659、1660、1661、1662、1663、1664、1665、1666、1667、1668、1669、1670、1671、1672、1673、1674、1675、1676、1677、1678、1679、1680、1681、1682、1683、1684、1685、1686、1687、1688、1689、1690、1691、1692、1693、1694、1695、1696、1697、1698、1699、1700、1701、1702、1703、1704、1705、1706、1707、1708、1709、1710、1711、1712、1713、1714、1715、1716、1717、1718、1719、1720、1721、1722、1723、1724、1725、1726、1727、1728、1729、1730、1731、1732、1733、1734、1735、1736、1737、1738、1739、1740、1741、1742、1743、1744、1745、1746、1747、1748、1749、1750、1751、1752、1753、1754、1755、1756、1757、1758、1759、1760、1761、1762、1763、1764、1765、1766、1767、1768、1769、1770、1771、1772、1773、1774、1775、1776、1777、1778、1779、1780、1781、1782、1783、1784、1785、1786、1787、1788、1789、1790、1791、1792、1793、1794、1795、1796、1797、1798、1799、1800、1801、1802、1803、1804、1805、1806、1807、1808、1809、1810、1811、1812、1813、1814、1815、1816、1817、1818、1819、1820、1821、1822、1823、1824、1825、1826、1827、1828、1829、1830、1831、1832、1833、1834、1835、1836、1837、1838、1839、1840、1841、1842、1843、1844、1845、1846、1847、1848、1849、1850、1851、1852、1853、1854、1855、1856、1857、1858、1859、1860、1861、1862、1863、1864、1865、1866、1867、1868、1869、1870、1871、1872、1873、1874、1875、1876、1877、1878、1879、1880、1881、1882、1883、1884、1885、1886、1887、1888、1889、1890、1891、1892、1893、1894、1895、1896、1897、1898、1899、1900、1901、1902、1903、1904、1905、1906、1907、1908、1909、1910、1911、1912、1913、1914、1915、1916、1917、1918、1919、1920、1921、1922、1923、1924、1925、1926、1927、1928、1929、1930、1931、1932、1933、1934、1935、1936、1937、1938、1939、1940、1941、1942、1943、1944、1945、1946、1947、1948、1949、1950、1951、1952、1953、1954、1955、1956、1957、1958、1959、1960、1961、1962、1963、1964、1965、1966、1967、1968、1969、1970、1971、1972、1973、1974、1975、1976、1977、1978、1979、1980、1981、1982、1983、1984、1985、1986、1987、1988、1989、1990、1991、1992、1993、1994、1995、1996、1997、1998、1999、2000、2001、2002、2003、2004、2005、2006、2007、2008、2009、2010、2011、2012、2013、2014、2015、2016、2017、2018、2019、2020、2021、2022、2023、2024、2025、2026、2027、2028、2029、2030、2031、2032、2033、2034、2035、2036、2037、2038、2039、2040、2041、2042、2043、2044、2045、2046、2047、2048、2049、2050、2051、2052、2053、2054、2055、2056、2057、2058、2059、2060、2061、2062、2063、2064、2065、2066、2067、2068、2069、2070、2071、2072、2073、2074、2075、2076、2077、2078、2079、2080、2081、2082、2083、2084、2085、2086、2087、2088、2089、2090、2091、2092、2093、2094、2095、2096、2097、2098、2099、2100、2101、2102、2103、2104、2105、2106、2107、2108、2109、2110、2111、2112、2113、2114、2115、2116、2117、2118、2119、2120、2121、2122、2123、2124、2125、2126、2127、2128、2129、2130、2131、2132、2133、2134、2135、2136、2137、2138、2139、2140、2141、2142、2143、2144、2145、2146、2147、2148、2149、2150、2151、2152、2153、2154、2155、2156、2157、2158、2159、2160、2161、2162、2163、2164、2165、2166、2167、2168、2169、2170、2171、2172、2173、2174、2175、2176、2177、2178、2179、2180、2181、2182、2183、2184、2185、2186、2187、2188、2189、2190、2191、2192、2193、2194、2195、2196、2197、2198、2199、2200、2201、2202、2203、2204、2205、2206、2207、2208、2209、2210、2211、2212、2213、2214、2215、2216、2217、2218、2219、2220、2221、2222、2223、2224、2225、2226、2227、2228、2229、2230、2231、2232、2233、2234、2235、2236、2237、2238、2239、2240、2241、2242、2243、2244、2245、2246、2247、2248、2249、2250、2251、2252、2253、2254、2255、2256、2257、2258、2259、2260、2261、2262、2263、2264、2265、2266、2267、2268、2269、2270、2271、2272、2273、2274、2275、2276、2277、2278、2279、2280、2281、2282、2283、2284、2285、2286、2287、2288、2289、2290、2291、2292、2293、2294、2295、2296、2297、2298、2299、2300、2301、2302、2303、2304、2305、2306、2307、2308、2309、2310、2311、2312、2313、2314、2315、2316、2317、2318、2319、2320、2321、2322、2323、2324、2325、2326、2327、2328、2329、2330、2331、2332、2333、2334、2335、2336、2337、2338、2339、2340、2341、2342、2343、2344、2345、2346、2347、2348、2349、2350、2351、2352、2353、2354、2355、2356、2357、2358、2359、2360、2361、2362、2363、2364、2365、2366、2367、2368、2369、2370、2371、2372、2373、2374、2375、2376、2377、2378、2379、2380、2381、2382、2383、2384、2385、2386、2387、2388、2389、2390、2391、2392、2393、2394、2395、2396、2397、2398、2399、2400、2401、2402、2403、2404、2405、2406、2407、2408、2409、2410、2411、2412、2413、2414、2415、2416、2417、2418、2419、2420、2421、2422、2423、2424、2425、2426、2427、2428、2429、2430、2431、2432、2433、2434、2435、2436、2437、2438、2439、2440、2441、2442、2443、2444、2445、2446、2447、2448、2449、2450、2451、2452、2453、2454、2455、2456、2457、2458、2459、2460、2461、2462、2463、2464、2465、2466、2467、2468、2469、2470、2471、2472、2473、2474、2475、2476、2477、2478、2479、2480、2481、2482、2483、2484、2485、2486、2487、2488、2489、2490、2491、2492、2493、2494、2495、2496、2497、2498、2499、2500、2501、2502、2503、2504、2505、2506、2507、2508、2509、2510、2511、2512、2513、2514、2515、2516、2517、2518、2519、2520、2521、2522、2523、2524、2525、2526、2527、2528、2529、2530、2531、2532、2533、2534、2535、2536、2537、2538、2539、2540、2541、2542、2543、2544、2545、2546、2547、2548、2549、2550、2551、2552、2553、2554、2555、2556、2557、2558、2559、2560、2561

波長を離す必要がある。信号光波長の配置例を図 23 に示す。この場合も、実際の光ファイバ伝送路の入、の長さ方向変調の範囲が重要となる。

【0060】図 24 に、 λ の温度依存性の測定例を示す。

山崎：H.Osaka et al., "Measuring the Longitudinal Distribution of Four-Wave Mixing Efficiency in Dispersion-Shifted Fibers", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 6, No. 12, 1994.

ここでは、長さ 1.1 km の DSF に対し、四光波混合 (FWM) の発生効果から λ を求める。これより、温度範囲 -20 ~ +18.0 °C において、2.4 nm の変化 (変化率: 0.03 nm/°C) を示している。ここで用いた DSF の分散スロープは 0.07 ps/nm²/km であることから、波長分散値としては 0.168 ps/nm/km となる。この変化は、10 GHz/s 以上の伝送速度においては、長さ方向の変動とともに、システム設計において、十分に考慮しなければならない可能性がある。

【0061】温度の評価は図 25 に示すように光送信機 100 と光受信機 103 の間に設置された光ファイバ伝送路 102 の温度の適切な点 110 もしくは図 26 に示すように複数の点 110 において行なう。複数の点において温度を評価すれば、零分散波長のシフト量の分布を知ることができ、光増幅中継伝送システムの場合には図 27 に示すように中継伝送路 102 の一部又はすべてについて一点もしくは複数の点において行なう。

【0062】温度評価の方法としては、伝送路の光ファイバケーブルの温度を適切な温度センサを使って直接測定する方法の他に、管壁温度、光ファイバケーブルが地中に埋設されている場合はその地温温度、海中に敷設されている場合には水温を測定すること等により光ファイバケーブルの温度を推測することができ、また、結局もしくは中継局での気温や管壁温度の測定からも推測することができ、光ファイバケーブルに沿って温度測定用の光ファイバを布設し、OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) 法を用いてラマン散光を測定すれば、連続的な温度分布を測定することができ、

【0063】以上の温度評価値から、変動量を把握し、それに合わせて信号光波長等の制御パラメータを修正する。また、過去の温度評価の結果から、平均的な季節変動および経年変動がレンダラーを作成し、制御パラメータを変化させる方式も考えられる。図 28 及び図 29 は温度評価値に基づいて信号光波長 106 を制御することにより、再生中継区間毎に信号光の波長を修正して最適な伝送条件を得る例を示す。図 28 は無中継伝送システムの場合、図 29 は光増幅中継伝送システムの場合を示す。図 30 は温度評価値に基づいてプリチャージング量

ち 1 つの光パルスにおいて波長が時間とともに長波長 (赤側) から短波長 (青側) ヘンシトすること。この現象がブルーシフトと呼ばれる。チャージング量を表すパラメータを α とすると、レッドシフトのとき $\alpha > 0$ でブルーシフトのとき $\alpha < 0$ である。信号光の波長が零分散波長より短かろうと長波長より長いとき、長波長の光は短波長の光より < 0 の領域にあるとき、長波長の光は短波長の光よりも光ファイバ中を速く進むので、予め $\alpha > 0$ (レッドシフト) のプリチャージングを与えておくこととパルスの波形を鋭くする効果をもたらす。波形変化が改善される。逆に、真零分散 ($\alpha > 0$) の領域にあるとき短波長の光の方が遅いので、予め $\alpha < 0$ (ブルーシフト) のプリチャージングを与えておくことと波形変化が改善される。また伝送路の条件に合わせて α の値を調節することによって、光システム全体の伝送条件を最適化することができる。フッパフエント型光増幅器では、前述のように動作点 Vb1 を使うか動作点 Vb2 を使うかで α の正負を切り換えることができる。また図 22 に示すように、強度変調器 107 と位相変調器 108 がランダムに接続されたフッパフエント型光増幅器を使用して位相変調器 108 の印刷高圧を可変すれば、プリチャージング量 α を連続的に可変することができる。図示した例では強度変調器と位相変調器が一体に集積化されているが、別のデバイスを経由しても良い。

【0051】ファイバ入力光の波長について、送信用光ファイバおよび自己発光出力光を変化させること、伝送路中で他の位相変調効果と波長分散の相互作用 (SPM-GVD 効果) による波形変化的様子が変わる。また、WDM 伝送の場合は、FWM によるクロストーク量 (後述) も変化する。なお、これらの光パワー変化は、送信用光および光増幅器 (光パストアンプ、光イライアンアンプ) の光出力パワーの制御により容易に実現可能である。

【0058】プリチャージング量の制御及び/又は光パワの制御は前述の図 1、3、4、8 ~ 19 の例において、信号光波長の制御及び/又は分散補償量の制御に代えて或いはこれらと併用して実施することができる。これまで説明した例においては、伝送路の零分散波長入れまでの波長に対応するため、定期的又は連続的に伝送特性を測定して信号光の波長等の制御パラメータを調節している。入、の経時変化の要因の 1 つに伝送路の温度変化が挙げられる。これについては、伝送路の温度を評価することにより零分散波長のシフト量を推測し、それに基づいて制御パラメータを修正することによって伝送条件を最適化することができる。

【0059】なお、光ファイバの零分散波長付近の帯域を利用した光増幅中継 WDM 方式においては、伝送特性の劣化要因として、信号光間の四光波混合によるクロストークがある。このクロストークを避けるためには、一般伝送の場合とは反対に、信号帯域と伝送路の零分散

各中継器のすべて又は一部に分散補償器を配置しても良い。

【0069】上記の様に SPM 効果を抑制すべく信号光の波長入、を零分散波長入、から離れた値に固定して分散補償器を配置した上で伝送特性を測定し、その結果に応じて入、を最適値に修正することにより一層の最適化をすることができ、図 4 ~ 4.6 にそのシステム構成のいくつかの例の図解を示す。伝送特性の測定方法及び制御の態様については、既に説明した多数のパラメータのすべてが適用可能である。また、図 4.7 ~ 4.9 に示すように、信号光波長入、を固定し、プリチャージング量を制御しても良い。さらに図 5.0 ~ 5.2 に示すように信号光波長入、とプリチャージング量の双方を制御しても良い。プリチャージング量の制御は前述したようにフッパフエント型光増幅器で実現できる。

【0070】これまで説明した例では、光送信機と光受信機に挟まれた 1 つの再生中継区間においては、光増幅中継器が設けられていても単一の信号光波長が使用されているが、以下に説明する例では、波長変換器を光増幅中継器内に配置して増幅中継区間毎に信号光波長入、を最適化する。図 5.3 は光増幅中継器に波長変換器 118 を配置して増幅中継区間毎に信号光波長入、を最適化して伝送システム全体の例を示す。図 5.3 ではすべての増幅中継区間に波長変換器 118 が配置されているが、この限りではない。図 5.4 に示すように送信用波長入、を可変光源 106 を配置して、送信用から最初的光増幅中継器までの区間の信号光波長入、をさらに最適化しても良い。

【0071】波長変換器 118 は例えば図 5.5 に示す光双安定レーザによる波長変換レーザを使って実現することができ、図の左側の部分が光双安定の構造であり右側の部分が波長入、を 2 つに分岐し、その部分を可変和性周波数として用いている。利得増幅 12.2、1.24 の増幅を調節して素子を発振直前の状態にしておくと、入出力光が注入された時に、可変和性周波数 12.6 が透明になりレーザ発振して、異なる波長の出力光が得られる。一方、図の右側の部分は発振波長の制御機構である。プリチャージング 12.8 と同折格子 12.9 を有する DBR 増幅 13.0 から成っている。DBR 増幅 13.0 に電流を注入するとキャリアーによるブラズマ効果により光波長が短くなる。プリチャージング 13.2 の増幅率が減少し、ブラズマ効果は長波長に移動することができ、また、位相シフト増幅 12.8 への注入電流を変化させることにより、この領域の平均的な光波長を変化させることができ、光の位相を発振条件に合わせることもできる。したがって、2 つの領域の電流を独立に変化させることで、広範囲に出力光の波長を制御することができる。

【0072】波長変換器 112 の第 2 の実施例として、四光波混合の現象を積極的に利用したものがある。DSF に零分散波長付近の 2 つの波長入、 λ_1 、 λ_2 の光を入射すると、四光波混合により $\lambda_3 = \lambda_1 + \lambda_2$ 、 $\lambda_4 = \lambda_1 - \lambda_2$ 、 $\lambda_5 = \lambda_1 + \lambda_3$ 、 $\lambda_6 = \lambda_1 - \lambda_3$ 、 $\lambda_7 = \lambda_2 + \lambda_3$ 、 $\lambda_8 = \lambda_2 - \lambda_3$ 、 $\lambda_9 = \lambda_1 + \lambda_4$ 、 $\lambda_{10} = \lambda_1 - \lambda_4$ 、 $\lambda_{11} = \lambda_2 + \lambda_4$ 、 $\lambda_{12} = \lambda_2 - \lambda_4$ 、 $\lambda_{13} = \lambda_1 + \lambda_5$ 、 $\lambda_{14} = \lambda_1 - \lambda_5$ 、 $\lambda_{15} = \lambda_2 + \lambda_5$ 、 $\lambda_{16} = \lambda_2 - \lambda_5$ 、 $\lambda_{17} = \lambda_1 + \lambda_6$ 、 $\lambda_{18} = \lambda_1 - \lambda_6$ 、 $\lambda_{19} = \lambda_2 + \lambda_6$ 、 $\lambda_{20} = \lambda_2 - \lambda_6$ 、 $\lambda_{21} = \lambda_1 + \lambda_7$ 、 $\lambda_{22} = \lambda_1 - \lambda_7$ 、 $\lambda_{23} = \lambda_2 + \lambda_7$ 、 $\lambda_{24} = \lambda_2 - \lambda_7$ 、 $\lambda_{25} = \lambda_1 + \lambda_8$ 、 $\lambda_{26} = \lambda_1 - \lambda_8$ 、 $\lambda_{27} = \lambda_2 + \lambda_8$ 、 $\lambda_{28} = \lambda_2 - \lambda_8$ 、 $\lambda_{29} = \lambda_1 + \lambda_9$ 、 $\lambda_{30} = \lambda_1 - \lambda_9$ 、 $\lambda_{31} = \lambda_2 + \lambda_9$ 、 $\lambda_{32} = \lambda_2 - \lambda_9$ 、 $\lambda_{33} = \lambda_1 + \lambda_{10}$ 、 $\lambda_{34} = \lambda_1 - \lambda_{10}$ 、 $\lambda_{35} = \lambda_2 + \lambda_{10}$ 、 $\lambda_{36} = \lambda_2 - \lambda_{10}$ 、 $\lambda_{37} = \lambda_1 + \lambda_{11}$ 、 $\lambda_{38} = \lambda_1 - \lambda_{11}$ 、 $\lambda_{39} = \lambda_2 + \lambda_{11}$ 、 $\lambda_{40} = \lambda_2 - \lambda_{11}$ 、 $\lambda_{41} = \lambda_1 + \lambda_{12}$ 、 $\lambda_{42} = \lambda_1 - \lambda_{12}$ 、 $\lambda_{43} = \lambda_2 + \lambda_{12}$ 、 $\lambda_{44} = \lambda_2 - \lambda_{12}$ 、 $\lambda_{45} = \lambda_1 + \lambda_{13}$ 、 $\lambda_{46} = \lambda_1 - \lambda_{13}$ 、 $\lambda_{47} = \lambda_2 + \lambda_{13}$ 、 $\lambda_{48} = \lambda_2 - \lambda_{13}$ 、 $\lambda_{49} = \lambda_1 + \lambda_{14}$ 、 $\lambda_{50} = \lambda_1 - \lambda_{14}$ 、 $\lambda_{51} = \lambda_2 + \lambda_{14}$ 、 $\lambda_{52} = \lambda_2 - \lambda_{14}$ 、 $\lambda_{53} = \lambda_1 + \lambda_{15}$ 、 $\lambda_{54} = \lambda_1 - \lambda_{15}$ 、 $\lambda_{55} = \lambda_2 + \lambda_{15}$ 、 $\lambda_{56} = \lambda_2 - \lambda_{15}$ 、 $\lambda_{57} = \lambda_1 + \lambda_{16}$ 、 $\lambda_{58} = \lambda_1 - \lambda_{16}$ 、 $\lambda_{59} = \lambda_2 + \lambda_{16}$ 、 $\lambda_{60} = \lambda_2 - \lambda_{16}$ 、 $\lambda_{61} = \lambda_1 + \lambda_{17}$ 、 $\lambda_{62} = \lambda_1 - \lambda_{17}$ 、 $\lambda_{63} = \lambda_2 + \lambda_{17}$ 、 $\lambda_{64} = \lambda_2 - \lambda_{17}$ 、 $\lambda_{65} = \lambda_1 + \lambda_{18}$ 、 $\lambda_{66} = \lambda_1 - \lambda_{18}$ 、 $\lambda_{67} = \lambda_2 + \lambda_{18}$ 、 $\lambda_{68} = \lambda_2 - \lambda_{18}$ 、 $\lambda_{69} = \lambda_1 + \lambda_{19}$ 、 $\lambda_{70} = \lambda_1 - \lambda_{19}$ 、 $\lambda_{71} = \lambda_2 + \lambda_{19}$ 、 $\lambda_{72} = \lambda_2 - \lambda_{19}$ 、 $\lambda_{73} = \lambda_1 + \lambda_{20}$ 、 $\lambda_{74} = \lambda_1 - \lambda_{20}$ 、 $\lambda_{75} = \lambda_2 + \lambda_{20}$ 、 $\lambda_{76} = \lambda_2 - \lambda_{20}$ 、 $\lambda_{77} = \lambda_1 + \lambda_{21}$ 、 $\lambda_{78} = \lambda_1 - \lambda_{21}$ 、 $\lambda_{79} = \lambda_2 + \lambda_{21}$ 、 $\lambda_{80} = \lambda_2 - \lambda_{21}$ 、 $\lambda_{81} = \lambda_1 + \lambda_{22}$ 、 $\lambda_{82} = \lambda_1 - \lambda_{22}$ 、 $\lambda_{83} = \lambda_2 + \lambda_{22}$ 、 $\lambda_{84} = \lambda_2 - \lambda_{22}$ 、 $\lambda_{85} = \lambda_1 + \lambda_{23}$ 、 $\lambda_{86} = \lambda_1 - \lambda_{23}$ 、 $\lambda_{87} = \lambda_2 + \lambda_{23}$ 、 $\lambda_{88} = \lambda_2 - \lambda_{23}$ 、 $\lambda_{89} = \lambda_1 + \lambda_{24}$ 、 $\lambda_{90} = \lambda_1 - \lambda_{24}$ 、 $\lambda_{91} = \lambda_2 + \lambda_{24}$ 、 $\lambda_{92} = \lambda_2 - \lambda_{24}$ 、 $\lambda_{93} = \lambda_1 + \lambda_{25}$ 、 $\lambda_{94} = \lambda_1 - \lambda_{25}$ 、 $\lambda_{95} = \lambda_2 + \lambda_{25}$ 、 $\lambda_{96} = \lambda_2 - \lambda_{25}$ 、 $\lambda_{97} = \lambda_1 + \lambda_{26}$ 、 $\lambda_{98} = \lambda_1 - \lambda_{26}$ 、 $\lambda_{99} = \lambda_2 + \lambda_{26}$ 、 $\lambda_{100} = \lambda_2 - \lambda_{26}$ 、 $\lambda_{101} = \lambda_1 + \lambda_{27}$ 、 $\lambda_{102} = \lambda_1 - \lambda_{27}$ 、 $\lambda_{103} = \lambda_2 + \lambda_{27}$ 、 $\lambda_{104} = \lambda_2 - \lambda_{27}$ 、 $\lambda_{105} = \lambda_1 + \lambda_{28}$ 、 $\lambda_{106} = \lambda_1 - \lambda_{28}$ 、 $\lambda_{107} = \lambda_2 + \lambda_{28}$ 、 $\lambda_{108} = \lambda_2 - \lambda_{28}$ 、 $\lambda_{109} = \lambda_1 + \lambda_{29}$ 、 $\lambda_{110} = \lambda_1 - \lambda_{29}$ 、 $\lambda_{111} = \lambda_2 + \lambda_{29}$ 、 $\lambda_{112} = \lambda_2 - \lambda_{29}$ 、 $\lambda_{113} = \lambda_1 + \lambda_{30}$ 、 $\lambda_{114} = \lambda_1 - \lambda_{30}$ 、 $\lambda_{115} = \lambda_2 + \lambda_{30}$ 、 $\lambda_{116} = \lambda_2 - \lambda_{30}$ 、 $\lambda_{117} = \lambda_1 + \lambda_{31}$ 、 $\lambda_{118} = \lambda_1 - \lambda_{31}$ 、 $\lambda_{119} = \lambda_2 + \lambda_{31}$ 、 $\lambda_{120} = \lambda_2 - \lambda_{31}$ 、 $\lambda_{121} = \lambda_1 + \lambda_{32}$ 、 $\lambda_{122} = \lambda_1 - \lambda_{32}$ 、 $\lambda_{123} = \lambda_2 + \lambda_{32}$ 、 $\lambda_{124} = \lambda_2 - \lambda_{32}$ 、 $\lambda_{125} = \lambda_1 + \lambda_{33}$ 、 $\lambda_{126} = \lambda_1 - \lambda_{33}$ 、 $\lambda_{127} = \lambda_2 + \lambda_{33}$ 、 $\lambda_{128} = \lambda_2 - \lambda_{33}$ 、 $\lambda_{129} = \lambda_1 + \lambda_{34}$ 、 $\lambda_{130} = \lambda_1 - \lambda_{34}$ 、 $\lambda_{131} = \lambda_2 + \lambda_{34}$ 、 $\lambda_{132} = \lambda_2 - \lambda_{34}$ 、 $\lambda_{133} = \lambda_1 + \lambda_{35}$ 、 $\lambda_{134} = \lambda_1 - \lambda_{35}$ 、 $\lambda_{135} = \lambda_2 + \lambda_{35}$ 、 $\lambda_{136} = \lambda_2 - \lambda_{35}$ 、 $\lambda_{137} = \lambda_1 + \lambda_{36}$ 、 $\lambda_{138} = \lambda_1 - \lambda_{36}$ 、 $\lambda_{139} = \lambda_2 + \lambda_{36}$ 、 $\lambda_{140} = \lambda_2 - \lambda_{36}$ 、 $\lambda_{141} = \lambda_1 + \lambda_{37}$ 、 $\lambda_{142} = \lambda_1 - \lambda_{37}$ 、 $\lambda_{143} = \lambda_2 + \lambda_{37}$ 、 $\lambda_{144} = \lambda_2 - \lambda_{37}$ 、 $\lambda_{145} = \lambda_1 + \lambda_{38}$ 、 $\lambda_{146} = \lambda_1 - \lambda_{38}$ 、 $\lambda_{147} = \lambda_2 + \lambda_{38}$ 、 $\lambda_{148} = \lambda_2 - \lambda_{38}$ 、 $\lambda_{149} = \lambda_1 + \lambda_{39}$ 、 $\lambda_{150} = \lambda_1 - \lambda_{39}$ 、 $\lambda_{151} = \lambda_2 + \lambda_{39}$ 、 $\lambda_{152} = \lambda_2 - \lambda_{39}$ 、 $\lambda_{153} = \lambda_1 + \lambda_{40}$ 、 $\lambda_{154} = \lambda_1 - \lambda_{40}$ 、 $\lambda_{155} = \lambda_2 + \lambda_{40}$ 、 $\lambda_{156} = \lambda_2 - \lambda_{40}$ 、 $\lambda_{157} = \lambda_1 + \lambda_{41}$ 、 $\lambda_{158} = \lambda_1 - \lambda_{41}$ 、 $\lambda_{159} = \lambda_2 + \lambda_{41}$ 、 $\lambda_{160} = \lambda_2 - \lambda_{41}$ 、 $\lambda_{161} = \lambda_1 + \lambda_{42}$ 、 $\lambda_{162} = \lambda_1 - \lambda_{42}$ 、 $\lambda_{163} = \lambda_2 + \lambda_{42}$ 、 $\lambda_{164} = \lambda_2 - \lambda_{42}$ 、 $\lambda_{165} = \lambda_1 + \lambda_{43}$ 、 $\lambda_{166} = \lambda_1 - \lambda_{43}$ 、 $\lambda_{167} = \lambda_2 + \lambda_{43}$ 、 $\lambda_{168} = \lambda_2 - \lambda_{43}$ 、 $\lambda_{169} = \lambda_1 + \lambda_{44}$ 、 $\lambda_{170} = \lambda_1 - \lambda_{44}$ 、 $\lambda_{171} = \lambda_2 + \lambda_{44}$ 、 $\lambda_{172} = \lambda_2 - \lambda_{44}$ 、 $\lambda_{173} = \lambda_1 + \lambda_{45}$ 、 $\lambda_{174} = \lambda_1 - \lambda_{45}$ 、 $\lambda_{175} = \lambda_2 + \lambda_{45}$ 、 $\lambda_{176} = \lambda_2 - \lambda_{45}$ 、 $\lambda_{177} = \lambda_1 + \lambda_{46}$ 、 $\lambda_{178} = \lambda_1 - \lambda_{46}$ 、 $\lambda_{179} = \lambda_2 + \lambda_{46}$ 、 $\lambda_{180} = \lambda_2 - \lambda_{46}$ 、 $\lambda_{181} = \lambda_1 + \lambda_{47}$ 、 $\lambda_{182} = \lambda_1 - \lambda_{47}$ 、 $\lambda_{183} = \lambda_2 + \lambda_{47}$ 、 $\lambda_{184} = \lambda_2 - \lambda_{47}$ 、 $\lambda_{185} = \lambda_1 + \lambda_{48}$ 、 $\lambda_{186} = \lambda_1 - \lambda_{48}$ 、 $\lambda_{187} = \lambda_2 + \lambda_{48}$ 、 $\lambda_{188} = \lambda_2 - \lambda_{48}$ 、 $\lambda_{189} = \lambda_1 + \lambda_{49}$ 、 $\lambda_{190} = \lambda_1 - \lambda_{49}$ 、 $\lambda_{191} = \lambda_2 + \lambda_{49}$ 、 $\lambda_{192} = \lambda_2 - \lambda_{49}$ 、 $\lambda_{193} = \lambda_1 + \lambda_{50}$ 、 $\lambda_{194} = \lambda_1 - \lambda_{50}$ 、 $\lambda_{195} = \lambda_2 + \lambda_{50}$ 、 $\lambda_{196} = \lambda_2 - \lambda_{50}$ 、 $\lambda_{197} = \lambda_1 + \lambda_{51}$ 、 $\lambda_{198} = \lambda_1 - \lambda_{51}$ 、 $\lambda_{199} = \lambda_2 + \lambda_{51}$ 、 $\lambda_{200} = \lambda_2 - \lambda_{51}$ 、 $\lambda_{201} = \lambda_1 + \lambda_{52}$ 、 $\lambda_{202} = \lambda_1 - \lambda_{52}$ 、 $\lambda_{203} = \lambda_2 + \lambda_{52}$ 、 $\lambda_{204} = \lambda_2 - \lambda_{52}$ 、 $\lambda_{205} = \lambda_1 + \lambda_{53}$ 、 $\lambda_{206} = \lambda_1 - \lambda_{53}$ 、 $\lambda_{207} = \lambda_2 + \lambda_{53}$ 、 $\lambda_{208} = \lambda_2 - \lambda_{53}$ 、 $\lambda_{209} = \lambda_1 + \lambda_{54}$ 、 $\lambda_{210} = \lambda_1 - \lambda_{54}$ 、 $\lambda_{211} = \lambda_2 + \lambda_{54}$ 、 $\lambda_{212} = \lambda_2 - \lambda_{54}$ 、 $\lambda_{213} = \lambda_1 + \lambda_{55}$ 、 $\lambda_{214} = \lambda_1 - \lambda_{55}$ 、 $\lambda_{215} = \lambda_2 + \lambda_{55}$ 、 $\lambda_{216} = \lambda_2 - \lambda_{55}$ 、 $\lambda_{217} = \lambda_1 + \lambda_{56}$ 、 $\lambda_{218} = \lambda_1 - \lambda_{56}$ 、 $\lambda_{219} = \lambda_2 + \lambda_{56}$ 、 $\lambda_{220} = \lambda_2 - \lambda_{56}$ 、 $\lambda_{221} = \lambda_1 + \lambda_{57}$ 、 $\lambda_{222} = \lambda_1 - \lambda_{57}$ 、 $\lambda_{223} = \lambda_2 + \lambda_{57}$ 、 $\lambda_{224} = \lambda_2 - \lambda_{57}$ 、 $\lambda_{225} = \lambda_1 + \lambda_{58}$ 、 $\lambda_{226} = \lambda_1 - \lambda_{58}$ 、 $\lambda_{227} = \lambda_2 + \lambda_{58}$ 、 $\lambda_{228} = \lambda_2 - \lambda_{58}$ 、 $\lambda_{229} = \lambda_1 + \lambda_{59}$ 、 $\lambda_{230} = \lambda_1 - \lambda_{59}$ 、 $\lambda_{231} = \lambda_2 + \lambda_{59}$ 、 $\lambda_{232} = \lambda_2 - \lambda_{59}$ 、 $\lambda_{233} = \lambda_1 + \lambda_{60}$ 、 $\lambda_{234} = \lambda_1 - \lambda_{60}$ 、 $\lambda_{235} = \lambda_2 + \lambda_{60}$ 、 $\lambda_{236} = \lambda_2 - \lambda_{60}$ 、 $\lambda_{237} = \lambda_1 + \lambda_{61}$ 、 $\lambda_{238} = \lambda_1 - \lambda_{61}$ 、 $\lambda_{239} = \lambda_2 + \lambda_{61}$ 、 $\lambda_{240} = \lambda_2 - \lambda_{61}$ 、 $\lambda_{241} = \lambda_1 + \lambda_{62}$ 、 $\lambda_{242} = \lambda_1 - \lambda_{62}$ 、 $\lambda_{243} = \lambda_2 + \lambda_{62}$ 、 $\lambda_{244} = \lambda_2 - \lambda_{62}$ 、 $\lambda_{245} = \lambda_1 + \lambda_{63}$ 、 $\lambda_{246} = \lambda_1 - \lambda_{63}$ 、 $\lambda_{247} = \lambda_2 + \lambda_{63}$ 、 $\lambda_{248} = \lambda_2 - \lambda_{63}$ 、 $\lambda_{249} = \lambda_1 + \lambda_{64}$ 、 $\lambda_{250} = \lambda_1 - \lambda_{64}$ 、 $\lambda_{251} = \lambda_2 + \lambda_{64}$ 、 $\lambda_{252} = \lambda_2 - \lambda_{64}$ 、 $\lambda_{253} = \lambda_1 + \lambda_{65}$ 、 $\lambda_{254} = \lambda_1 - \lambda_{65}$ 、 $\lambda_{255} = \lambda_2 + \lambda_{65}$ 、 $\lambda_{256} = \lambda_2 - \lambda_{65}$ 、 $\lambda_{257} = \lambda_1 + \lambda_{66}$ 、 $\lambda_{258} = \lambda_1 - \lambda_{66}$ 、 $\lambda_{259} = \lambda_2 + \lambda_{66}$ 、 $\lambda_{260} = \lambda_2 - \lambda_{66}$ 、 $\lambda_{261} = \lambda_1 + \lambda_{67}$ 、 $\lambda_{262} = \lambda_1 - \lambda_{67}$ 、 $\lambda_{263} = \lambda_2 + \lambda_{67}$ 、 $\lambda_{264} = \lambda_2 - \lambda_{67}$ 、 $\lambda_{265} = \lambda_1 + \lambda_{68}$ 、 $\lambda_{266} = \lambda_1 - \lambda_{68}$ 、 $\lambda_{267} = \lambda_2 + \lambda_{68}$ 、 $\lambda_{268} = \lambda_2 - \lambda_{68}$ 、 $\lambda_{269} = \lambda_1 + \lambda_{69}$ 、 $\lambda_{270} = \lambda_1 - \lambda_{69}$ 、 $\lambda_{271} = \lambda_2 + \lambda_{69}$ 、 $\lambda_{272} = \lambda_2 - \lambda_{69}$ 、 $\lambda_{273} = \lambda_1 + \lambda_{70}$ 、 $\lambda_{274} = \lambda_1 - \lambda_{70}$ 、 $\lambda_{275} = \lambda_2 + \lambda_{70}$ 、 $\lambda_{276} = \lambda_2 - \lambda_{70}$ 、 $\lambda_{277} = \lambda_1 + \lambda_{71}$ 、 $\lambda_{278} = \lambda_1 - \lambda_{71}$ 、 $\lambda_{279} = \lambda_2 + \lambda_{71}$ 、 $\lambda_{280} = \lambda_2 - \lambda_{71}$ 、 $\lambda_{281} = \lambda_1 + \lambda_{72}$ 、 $\lambda_{282} = \lambda_1 - \lambda_{72}$ 、 $\lambda_{283} = \lambda_2 + \lambda_{72}$ 、 $\lambda_{284} = \lambda_2 - \lambda_{72}$ 、 $\lambda_{285} = \lambda_1 + \lambda_{73}$ 、 $\lambda_{286} = \lambda_1 - \lambda_{73}$ 、 $\lambda_{287} = \lambda_2 + \lambda_{73}$ 、 $\lambda_{288} = \lambda_2 - \lambda_{73}$ 、 $\lambda_{289} = \lambda_1 + \lambda_{74}$ 、 $\lambda_{290} = \lambda_1 - \lambda_{74}$ 、 $\lambda_{291} = \lambda_2 + \lambda_{74}$ 、 $\lambda_{292} = \lambda_2 - \lambda_{74}$ 、 $\lambda_{293} = \lambda_1 + \lambda_{75}$ 、 $\lambda_{294} = \lambda_1 - \lambda_{75}$ 、 $\lambda_{295} = \lambda_2 + \lambda_{75}$ 、 $\lambda_{296} = \lambda_2 - \lambda_{75}$ 、 $\lambda_{297} = \lambda_1 + \lambda_{76}$ 、 $\lambda_{298} = \lambda_1 - \lambda_{76}$ 、 $\lambda_{299} = \lambda_2 + \lambda_{76}$ 、 $\lambda_{300} = \lambda_2 - \lambda_{76}$ 、 $\lambda_{301} = \lambda_1 + \lambda_{77}$ 、 $\lambda_{302} = \lambda_1 - \lambda_{77}$ 、 $\lambda_{303} = \lambda_2 + \lambda_{77}$ 、 $\lambda_{304} = \lambda_2 - \lambda_{77}$ 、 $\lambda_{305} = \lambda_1 + \lambda_{78}$ 、 $\lambda_{306} = \lambda_1 - \lambda_{78}$ 、 $\lambda_{307} = \lambda_2 + \lambda_{78}$ 、 $\lambda_{308} = \lambda_2 - \lambda_{78}$ 、 $\lambda_{309} = \lambda_1 + \lambda_{79}$ 、 $\lambda_{310} = \lambda_1 - \lambda_{79}$ 、 $\lambda_{311} = \lambda_2 + \lambda_{79}$ 、 $\lambda_{312} = \lambda_2 - \lambda_{79}$ 、 $\lambda_{313} = \lambda_1 + \lambda_{80}$ 、 $\lambda_{314} = \lambda_1 - \lambda_{80}$ 、 $\lambda_{315} = \lambda_2 + \lambda_{80}$ 、 $\lambda_{316} = \lambda_2 - \lambda_{80}$ 、 $\lambda_{317} = \lambda_1 + \lambda_{81}$ 、 $\lambda_{318} = \lambda_1 - \lambda_{81}$ 、 $\lambda_{319} = \lambda_2 + \lambda_{81}$ 、 $\lambda_{320} = \lambda_2 - \lambda_{81}$ 、 $\lambda_{321} = \lambda_1 + \lambda_{82}$ 、 $\lambda_{322} = \lambda_1 - \lambda_{82}$ 、 $\lambda_{323} = \lambda_2 + \lambda_{82}$ 、 $\lambda_{324} = \lambda_2 - \lambda_{82}$ 、 $\lambda_{325} = \lambda_1 + \lambda_{83}$ 、 $\lambda_{326} = \lambda_1 - \lambda_{83}$ 、 $\lambda_{327} = \lambda_2 + \lambda_{83}$ 、 $\lambda_{328} = \lambda_2 - \lambda_{83}$ 、 $\lambda_{329} = \lambda_1 + \lambda_{84}$ 、 $\lambda_{330} = \lambda_1 - \lambda_{84}$ 、 $\lambda_{331} = \lambda_2 + \lambda_{84}$ 、 $\lambda_{332} = \lambda_2 - \lambda_{84}$ 、 $\lambda_{333} = \lambda_1 + \lambda_{85}$ 、 $\lambda_{334} = \lambda_1 - \lambda_{85}$ 、 $\lambda_{335} = \lambda_2 + \lambda_{85}$ 、 $\lambda_{336} = \lambda_2 - \lambda_{85}$ 、 $\lambda_{337} = \lambda_1 + \lambda_{86}$ 、 $\lambda_{338} = \lambda_1 - \lambda_{86}$ 、 $\lambda_{339} = \lambda_2 + \lambda_{86}$ 、 $\lambda_{340} = \lambda_2 - \lambda_{86}$ 、 $\lambda_{341} = \lambda_1 + \lambda_{87}$ 、 $\lambda_{342} = \lambda_1 - \lambda_{87}$ 、 $\lambda_{343} = \lambda_2 + \lambda_{87}$ 、 $\lambda_{344} = \lambda_2 - \lambda_{87}$ 、 $\lambda_{345} = \lambda_1 + \lambda_{88}$ 、 $\lambda_{346} = \lambda_1 - \lambda_{88}$ 、 $\lambda_{347} = \lambda_2 + \lambda_{88}$ 、 $\lambda_{348} = \lambda_2 - \lambda_{88}$ 、 $\lambda_{349} = \lambda_1 + \lambda_{89}$ 、 $\lambda_{350} = \lambda_1 - \lambda_{89}$ 、 $\lambda_{351} = \lambda_2 + \lambda_{89}$ 、 $\lambda_{352} = \lambda_2 - \lambda_{89}$ 、 $\lambda_{353} = \lambda_1 + \lambda_{90}$ 、 $\lambda_{354} = \lambda_1 - \lambda_{90}$ 、 $\lambda_{355} = \lambda_2 + \lambda_{90}$ 、 $\lambda_{356} = \lambda_2 - \lambda_{90}$ 、 $\lambda_{357} = \lambda_1 + \lambda_{91}$ 、 $\lambda_{358} = \lambda_1 - \lambda_{91}$ 、 $\lambda_{359} = \lambda_2 + \lambda_{91}$ 、 $\lambda_{360} = \lambda_2 - \lambda_{91}$ 、 $\lambda_{361} = \lambda_1 + \lambda_{92}$ 、 $\lambda_{362} = \lambda_1 - \lambda_{92}$ 、 $\lambda_{363} = \lambda_2 + \lambda_{92}$ 、 $\lambda_{364} = \lambda_2 - \lambda_{92}$ 、 $\lambda_{365} = \lambda_1 + \lambda_{93}$ 、 $\lambda_{366} = \lambda_1 - \lambda_{93}$ 、 $\lambda_{367} = \lambda_2 + \lambda_{93}$ 、 $\lambda_{368} = \lambda_2 - \lambda_{93}$ 、 $\lambda_{369} = \lambda_1 + \lambda_{94}$ 、 $\lambda_{370} = \lambda_1 - \lambda_{94}$ 、 $\lambda_{371} = \lambda_2 + \lambda_{94}$ 、 $\lambda_{372} = \lambda_2 - \lambda_{94}$ 、 $\lambda_{373} = \lambda_1 + \lambda_{95}$ 、 $\lambda_{374} = \lambda_1 - \lambda_{95}$ 、 $\lambda_{375} = \lambda_2 + \lambda_{95}$ 、 $\lambda_{376} = \lambda_2 - \lambda_{95}$ 、 $\lambda_{377} = \lambda_1 + \lambda_{96}$ 、 $\lambda_{378} = \lambda_1 - \lambda_{96}$ 、 $\lambda_{379} = \lambda_2 + \lambda_{96}$ 、 $\lambda_{380} = \lambda_2 - \lambda_{96}$ 、 $\lambda_{381} = \lambda_1 + \lambda_{97}$ 、 $\lambda_{382} = \lambda_1 - \lambda_{97}$ 、 $\lambda_{383} = \lambda_2 + \lambda_{97}$ 、 $\lambda_{384} = \lambda_2 - \lambda_{97}$ 、 $\lambda_{385} = \lambda_1 + \lambda_{98}$ 、 $\lambda_{386} = \lambda_1 - \lambda_{98}$ 、 $\lambda_{387} = \lambda_2 + \lambda_{98}$ 、 λ_{38

入...)の光が発生する。入、を波長可変光源から発生させて可変とし、出力光からフィルタを入...の光のみを取り出すようにすれば、入...を入...に変換し、かつ、その波長を制御することができ、

【0073】各光増幅部4組間ごとと信号光波長の設定を行うことにより、さらに波長分岐を小さく抑えられることにより伝送速度の増大、および等分波長入、コストらつきの符号変調を低大でできることによる伝送路コストの削減が図られる。また、わざわざ再生し増して、信号光波長を設定しおすのではなく、光増幅部4組間において高速光信号のまゝを波長変換を使うことにより、2度の光電変換と高速電子回路による処理を省くことが、システムの小型化とコストダウンを要することができ、

【0074】予め決まる方向変動も含む伝送路の電分岐波長が把握できている場合には、シミュレーション等から、各光増幅部4組間ごとと最適な信号光波長に設定する。伝送路の電分岐波長が不明な場合は、システム立ち上げ時に、波長可変光源と波長変換器を挿入しながら、受信側で伝送特性を測定し、伝送特性が最適になる波長に設定すればよい。このとき、図58に示すように伝送測定部105から制御信号をフィードバックさせながら、波長変換器は波長シフト量ゼロに設定しておき、各波長変換器は波長シフト量ゼロに設定しておき、波長変換器を挿入し、伝送特性が最適な波長に設定する。このときに伝送特性が最適とされない場合は、送信側に近い方から順番に波長変換器を挿入させ、それぞれに伝送特性が最適な波長に設定していく方法等が考えられる。この場合の伝送特性の測定方法、及びシステム立ち上げと運用時の制御の態様については、既に説明した多数のバリエーションのすべてが適用可能である。

【0075】図57に示した例では、既に説明したように、SPM効果を低減すべくGVDを意図的につくるための分岐補償器112が送信部にさらに配置されている。分岐補償器をさらに各中継部に配置しても良い。次に、光多重を発生するための周波数特性について説明する。光源からの光に二重を電気信号で変換して光信号を生成するために用いられるマフツェンダ型光変換器は、図20を参照して既に説明したように正統波の特性を持っているが、温度変化や経時変化に伴ってそれが正しくなるようにトリフトを補償する必要がある。特に、図3-251815号は印加電圧(高周波電気信号)を印加電圧の周波数変調し、出力光に含ませる「成分がゼロになるように印加電圧のバイアスを制御することによってマフツェンダ型変換器のトリフトを補償する技術を開示している。即ち、駆動電圧の範囲V₁、V₂が適正であるときは図58に示すように出力光信号の上下の包絡線は直線2f₁で互いに逆位相で変化する。このとき、成分が含まれないのに対して、動作点が変動

すると、図59及び図60に示すように、出力光信号の上下の包絡線が曲線2f₁で互いに同相で変化する。この成分が含まれるようになる。そこで出力光信号の一端をカプラで分岐して電気信号に変換し、f₁で位相検波し、動作点を安定化する。

【0076】この様なトリフト補償の技術を光多重化システムに適用した場合、各光チャネル毎に光変換器が設けられるので、トリフト補償回路もそれぞれに必要になる。従って、前記のトリフト補償技術をそのまま光多重化システムに適用すると、光信号を分岐するためのカプラ及び分岐された光信号を電気信号に変換する光検出器等が多数必要になるという問題がある。

【0077】図61に本発明のトリフト補償回路を示す。光多重化システムの一側が示される。この側では、並列に複数配置されたマフツェンダ型光変換器201、201、...に同一波長入、のレーザ光をそれぞれ入力し、光変換器201、201、...の駆動回路203、203、...で発生したそれぞれ異なる周波数f₁、f₁、...の低周波信号で駆動信号(変調信号)を駆動変調する。

【0078】各光変換器201、201、...からの出力光は、光変換した後に光伝送路に送出することにも、光分岐器205でその一部をモニタ光として分岐し、その分岐光を光検出器206で光/電気変換し、さらに電気信号レベルで分岐し、各分岐した信号を帯域フィルタ208、208、...に適用して対応する位相検出・バイアス供給回路202、202、...に供給する。帯域フィルタ208、(但し、k=1, 2, ...以下同じ)は対応する光変換器201、の低周波成分の周波数f₁、f₁、...を通過させる。

【0079】位相検出・バイアス供給回路202、では、光電変換した帯域フィルタ208、で抽出した出力光中の低周波成分を低周波204、の出力で位相検波して、光変換器201、の動作点を制御する信号を生成する。この制御を光変換器201、201、...の各々が同時に、このように構成すると、光変換器201、の位相検出・バイアス供給回路202、の制御は帯域フィルタ208、で分岐した低周波f₁、成分で行われ、同時に、光変換器201、の位相検出・バイアス供給回路202、で分岐した低周波f₁、成分で行われるので、並列配置された各光変換器201、201、...のバイアス制御がそれぞれ独立に可能となる。

【0080】この構成は複数の光信号を光多重分割多重(OTDM)する場合に有効である。一方直での出力光分岐および光電変換で、複数の光変換器の制御が同時に可能となる。なお、この側では、光電変換して分岐した後に、各周波数成分を取り出すための帯域フィルタ208、208、...を用いているが、安定動作が可能であ

れば無くとも構わない。

【0081】この図61の例では、低周波の振幅変調による動作点トリフトの制御を、全ての光変換器201、201、...が並列的に動作して同時に行うようにしているが、他の例として、ある任意の時刻において低周波振幅変調を行っている駆動回路が一つだけになるように、低周波振幅変調を行う駆動回路を時間的に切り替えるようにし、それに連動して、低周波振幅変調を行っている光変換器のみの動作点トリフトを抽出して制御し、その間、残りの光変換器の動作点を固定しておくようにしてもよい。このようにすると、低周波信号として同一周波数の信号を使用することができ、

【0082】図62にそのような光多重化システムの場合が示される。この例では、並列に配置された光変換器への制御を一定の時間間隔T₁で切り替える。すなわち、複数個のマフツェンダ型光変換器201、201、...、...を並列に配置し、各光変換器201、201、...で同一波長入、の光信号の変調を行った後、それらを合流する。低周波振幅変調204は一つだけ用意して同一低周波f₁を発生し、これを可変スライツ209で時間間隔T₁ごとに各駆動回路203、203、...に時間的に切り替えて供給し、各駆動回路203、203、...は時間的に順次に切り替わって単一周波数f₁の低周波振幅変調を行う。

【0083】光変換器201、201、...の出力側では、合流した出力光を光分岐器205で分岐し光検出器206で光電変換し、位相検出・バイアス供給回路202に供給する。位相検出・バイアス供給回路202は出力光を分岐して光電変換した信号中の低周波成分を低周波204からの低周波f₁、信号で位相検波することによってバイアス電圧を生成し出力する。

【0084】位相検出・バイアス供給回路202の出力は可変スライツ210を介して各光変換器201、201、...に供給される。可変スライツ210は可変スライツ209と連動するようになっていて、駆動回路で低周波振幅変調を行っている光変換器のみに対してバイアス電圧を供給することで動作点トリフトを制御し、その間、残りの光変換器の動作点は固定しておく(例えばスライツ等で固定する。以下同じ)。

【0085】この例は図61の例と同様に、複数の光信号を光分岐多重する場合には有効であり、さらに、一つの位相検出・バイアス供給回路で制御可能であるという利点がある。制御していない光変換器でトリフトが起きないように、時間T₁は、制御の時間定数に比べて充分長い範囲でなるべく短く設定する。図63に本発明の光多重化システムの他の例が示される。この例では、光変換器201、201、...が並列に配置される。すなわち、複数個のマフツェンダ型光変換器201、201、...を並列に配置し、光波からの波長入、の光に2回以上の変調を加えるように系を構成する。なお、このシステム

ムは光信号が多重化されるわけではなくて光多重化システムと呼ぶべきではないが、本明細書では便宜化してこのシステムを光多重化システムと呼ぶこととする。

【0086】各光変換器201、201、...の駆動回路203、203、...ではそれぞれ異なる周波数f₁、f₁、...で低周波振幅変調が行われる。最後の光変換器の出力光を光分岐器205で分岐し、光検出器206で光電変換し、さらにこの電気信号を帯域フィルタ208、208、...をそれぞれ介して位相検出・バイアス供給回路202、202、...にそれぞれ供給する。帯域フィルタ208、は対応する光変換器201、の低周波成分の周波数f₁を通過させる。

【0087】位相検出・バイアス供給回路202、では、出力光から分岐した信号中の低周波成分を低周波204、からの低周波f₁、信号で位相検波して動作点トリフトを抽出して、対応する光変換器201、の動作点を制御する。この動作点制御は各光変換器201、201、...において同時に、動作点安定が可能であれば帯域フィルタ208、208、...は無くとも構わない。

【0088】この図63の例では、低周波振幅変調を行う駆動点トリフトの制御を、全ての光変換器201、201、...が同時に、動作点安定が可能であれば帯域フィルタ208、208、...は無くとも構わない。

【0089】図64にそのような光多重化システムの例が示される。この例では、並列に配置された光変換器201、201、...への制御を一定の時間間隔T₁で切り替える。すなわち、複数個のマフツェンダ型光変換器201、201、...を並列に配置し、光波からの光に2回以上の変調を加える系を構成する。低周波振幅変調204は一つだけ用意して同一低周波f₁を発生し、これを可変スライツ209で時間間隔T₁ごとに各駆動回路203、203、...に時間的に切り替えて供給し、各駆動回路203、203、...は時間的に順次に切り替わって単一周波数f₁の低周波振幅変調を行う。

【0090】最終段の光変換器の出力光を光分岐器205で分岐し、光検出器206で光電変換し、位相検出・バイアス供給回路202に供給する。位相検出・バイアス供給回路202は出力光を分岐して光電変換した信号中の低周波成分を低周波204からの単一周波数f₁、信号で位相検波することによってバイアス電圧を生成し出力する。

【0091】位相検出・バイアス供給回路202の出力は可変スライツ210を介して各光変換器201、201、...に供給される。可変スライツ210は可変スライツ209と連動するようになっていて、駆動回路

る。そして、これらを合波器246によりビット多量(光MUX)することにより、400m/sの光多重信号が生成される。この光時分割多重(OTDM)方式により、400m/s相当の超広帯域電圧デバイスが必要とすること無しに、400m/s光伝送が実現できる。

[0107]なお、その他の構成として、図70の光源LD240と光スリッチ241の代わり、短パルス光源や非線形光変調器付LDを用いる構成や、送信側光源使用の光スリッチ241の代わりに、単なるパンプ光パワー分岐素子や外部変調器を正位相駆動する構成も可能である。一方、受信側では、400m/s光多重信号Iを二つの200m/s RZ光信号に分離(光DEMUX)する必要がある。最近では、四光波混合(FWM)や相互位相変調(XPM)現象等の非線形効果を利用した超高速PLLによる光DEMUX方式の提案や実験が盛んに行われているが、いずれも大規模で、安定性の点でも課題がある。

[0108]そして、図70のように、送信側に用いられた1入力2出力光スリッチにより、1ビット電圧交互にビット分割する方法が最も簡単と考えられる。図70において、伝送路248から受信される光多重信号は光プリアンプ249を通してビット分割用の光スリッチ252に入力されるとともに、光分岐器250でその一部が分岐されてクロック抽出回路251に与えられる。クロック抽出回路251は例えば図8に示されるように人力信号を光抽出器260で光電変換後に狭帯域の電気フィルタ(帯域共輪フィルタ、SAWフィルタ等)262によってクロック信号を直接抽出する。抽出されたクロック信号は光スリッチ252にビット分割タイミングを与える信号として供給される。このクロック信号に与えられた光スリッチ252は受信した400m/s光多重信号Iを二つの200m/s RZ光信号に分離(光DEMUX)してそれぞれを光受光器253、254に入力する。

[0109]しかし、この受信側構成においては、信号源明瞭でなく、光スリッチ252での光スリッチ動作を行うために、データ主信号に同期した200m/sクロック信号が必要となり、受信される光多重信号自体に200m/s成分が含まれている必要がある。そこで、本発明では以下のような方法によって送信される光多重信号自体にクロック信号抽出に十分な大きさの200m/s成分を含ませる。すなわち、図72に示すように、送信側の二つのRZ信号I、IIに振幅遅延を設け、これを合流した400m/sの光多重信号Iからクロックを抽出する。図示するように、合流した光多重信号Iは図中に点線で示すような200m/sのクロック信号成分を十分に含むようになる。

[0110]次に、光多重信号にクロック信号成分を含ませるために必要とされる光信号に振幅遅延を設けるための種々の方法について説明する。ここでは説明の便宜

上、光多重の方法として、別の光源LDを用い、それぞれの出力光を外部変調して合波する構成をケースAとし、上述の図70の例のようになつた光源LDの出力光を分岐してから、それぞれを外部変調後に合波する構成をケースBとする。

[0111]図74にはケースAの場合の1例が示される。外部変調器244、245に光信号を入力する光源LDをそれぞれ用い、この光源LD240a、240bの出力パワーが異なるように設定すれば、多量化される光信号a、bに振幅遅延を設けることができる。図75にはケースAの場合の他の例が示される。図示するよう、光信号LDから合波器246で合波されるまでの光経路の一方に光減衰器256を挿入することにより、多量化される二つの光信号a、bに振幅遅延を設けることができる。図示の例では外部変調器244と合波器246の間に光減衰器256を設けたが、光源LD240aと外部変調器244との間に設けるものであってもよい。もちろん、外部変調器245側の光経路に設けるものであってもよい。この光減衰器256の代わりに、光増幅器を用いる構成も可能である。さらに、外部変調方式に限らず、LD直接変調変調器一体型LDを用いる場合も、これらの方法は有効である。

[0112]図76には上述の図75の方法をケースBに適用した場合の例が示される。このケースBは光源LDが一つである他は上述したものと同じであるので、詳細な説明は省く。またさらに、このケースA、ケースBのいずれの場合も、外部変調方式を採用した光時分割多重伝送方式においては、複数の光信号の光強度振幅差を、外部変調器244、245としてそれぞれ挿入損失の異なるものを用いることにより異ならせることができる。

[0113]外部変調器としてマフツェンダ型的光変調器を用いる場合、光変調器を駆動する電圧振幅を変えたり、そのバイアス点を変えることで、出力光の振幅を変えることができる。図77、図78はこの様子を示すもので、図77では駆動電圧(印加電圧)の振幅値をVからVfに変えることにより出力光強度が変わる様子Iが示される。また、図78では駆動電圧のバイアス電圧をVB-eからVB-fに変えることにより出力光強度が変わる様子IIが示される。このように外部変調器としてマフツェンダ型的光変調器を用いる場合に限れば、駆動電圧振幅あるいはバイアス電圧を変えて外部変調器244、245の出力光強度を変えることができる。

[0114]また、ケースBの場合は、光スリッチ241(あるいはこれに代わるパンプ光パワー分岐素子など)による光源LD240の出力光の分岐比を1:1にしないことにより、各外部変調器244、245の出力光に振幅遅延を設けることができる。図79にはケースBの場合の他の例が示される。この例では、外部変調器244、245の出力光の偏波状態が直交偏波の主軸が

直交するように設定している。このように、偏波状態が異なる、例えば直交偏波の主軸が直交する二つのRZ信号を光多重する場合に、送信側(合波器246)での光多重の後の光経路に、偏波依存性のある光素子257を挿入することで、多量化された二つの光信号の光強度が光素子257を通して振幅遅延を待たれることができ、交互のビットで光振幅の異なる光多重信号が実現できる。

[0115]また、上述の偏波依存性のある光素子257を挿入するに代えて、合波器として構造上もしくは光信号の入射偏光軸により、合波比に偏光依存性の存在する合波器を用いる構成も可能である。さらに、送信側での交互ビット間の偏波状態の関係が、受信側でもある程度保持される伝送システムにおいては、図80に示されるように、受信側において、光スリッチ252での光分岐の前に、偏波依存性のある光素子255を挿入するようにしてもよい。

[0116]なお、この実施例では、交互のビットに光強度振幅差のある2波多重の場合を説明したが、N波多重の構成も可能である。例えば4波多重を行うような光多重伝送システムの場合にも、光多重信号からクロック信号を抽出することができ、図73はこのような4波多重の例を示すもので、4波多重する光信号をg1、g2、g3、g4とすると、 $g1 > g2 = g4 > g3$ の関係に各偏波遅延を設け、これらを合流して光多重信号Iを作成すると、この光多重信号Iは図中の点線Iで示すようなクロック信号成分を有するようになる。さらに、この場合は振幅遅延の設定方法により、複数の偏波のクロック信号成分を含ませることができ、

[0117]また、本発明の一つの特徴点として以下の点が挙げられる。すなわち、従来の100m/sまでの光伝送システムにおいては、信号光を受光(光電変換)後に、電気段で主信号を分離して、クロック抽出を行っている。これに対して、本発明においては、図81に示すように、光段で主信号から分離した光多重信号から、上述の各方法によりクロック抽出を行い、そのクロック信号を用いて光分岐を行う点が特徴である。

[0118]多量化伝送システムにおける次の問題として、一般に送信側における多量化前の各チャンネルと受信側における多量化後の各チャンネルとの対応関係が固定的に定まることが要求される。例えば図70において、駆動回路242で供給される信号は常に光変調器253において受信され、駆動回路243で供給される信号は常に光受光器254で受信されること要求される。しかしながら、従来のOTDM伝送システムでは、受信側で各チャンネルの区別をしないために、システムを立ち上げる前に対応関係が異なる可能性があり、そのため回復の管理ができないという問題がある。[0119]図83は本発明に係るOTDM通信システムを受信側において用いて好適な光分岐器の構成を示

す。受信された光信号を2つに分岐する光分岐回路300、一方の分岐光信号からクロック信号を再生するクロック信号再生回路302、再生されたクロック信号に従って受信光信号を光レベルで2チャンネルに分離する光スリッチ304及び分岐された各チャンネルの光信号からデータを再生する2つの光受光器306、308からなる構成は図70のシステムの変形と同様である。

[0120]送信側から伝送されるデータは例えば図84の形式に従う。図84において、310は光受光器308、308においてフレーム間を確立するためのフレーム同期データであり、312はチャンネルを識別するための識別データである。図85は識別データ抽出回路314、316はこの識別データ312を抽出し、制御回路318は図85に示した光分岐器320を制御して、出力回路1へ出力すべきデータが出力回路2へ出力される力同様2へ出力すべきデータが出力回路2へ出力されるように信号交換回路320内の接続を制御する。図86は識別データ抽出回路314、316の人力信号は、信号交換回路320の出力から取り出しても良い。制御回路318はマイコンコンピュータを備えて容易に実現することができ、

[0121]図85に示した光分岐器では、光受光器の出力の接続を切り換える代りに、位相可変器322を制御して光スリッチ304に与えるクロック信号の位相を変えることにより、実質的に接続切替の効果を得ている。2多重の場合、クロック信号の位相を180°シフトすることにより、実質的に位相の入れ替わりが達成される。

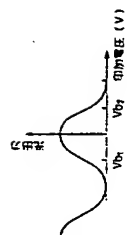
[0122]図86には図85の光分岐器を2チャンネルから4チャンネルへ拡張した例を示す。クロック信号発生回路302で再生されたクロック信号は位相可変器322を経て光スリッチ304へ供給されるとともに、1/2分岐回路303で1/2分岐され、位相可変器323及び323'をそれぞれ経て光スリッチ305及び305'へ供給される。4チャンネルの光信号CH1~CH4が図115(a)に示すようにCH1~CH2-C1H3~C1H4の順で多量化されている。光スリッチ305は図115(b)に示すクロックで1タイムスロット毎に交互に出力されるので、一方の出力が図115(c)に示すようにCH1とCH2が他方の出力が図115(d)に示すようにCH1とCH2とCH4が2タイムスロット毎に交互に出力される。光スリッチ305及び305'は図115(e)及び図115(h)に示すクロックで2タイムスロット毎に交互に出力される。光スリッチ305及び305'は図115(f)及び図115(j)に示すようにCH1とCH2とCH4が分岐され、図115(g)に示すようにCH1とCH3とCH4が分岐される。制御回路318は図85と同様に図83に示すように出力回路1から、CH2が出力回路2へ、例えばCH1が出力回路1から、CH2が出力回路2へ

の光伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 11】本発明の光伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 12】分散可変補償器が受信側に設けられた本発明の光伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 13】本発明の光伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 14】中継器にも分散可変補償器が設けられた本発明の光伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 15】伝送特性測定部がさらに設けられた本発明の光伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 16】本発明の光伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 17】本発明の光伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 18】本発明の光伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 19】本発明の光伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 20】マフパツェンダ型的光変調器の特性を示すブロック図である。
【図 21】マフパツェンダ型光変調器におけるレッドシフト及びブルーシフトを説明する図である。
【図 22】プリチャージパルス量の制御のために強度変調部と位相変調部をタンデムに接続したマフパツェンダ型光変調器を示す図である。
【図 23】波長多重方式における信号波長の配置の一側を示す図である。
【図 24】等分散波長入りの温度依存性を示す図である。
【図 25】光ファイバの温度係数の一例を示す図である。
【図 26】光ファイバの温度係数の他の例を示す図である。
【図 27】光ファイバの温度係数の他の例を示す図である。
【図 28】温度係数に基づき信号光波長を変更する光伝送システムの一側を示す図である。
【図 29】本発明の光伝送システムの一側を示す図である。
【図 30】温度係数に基づきプリチャージパルス量を変更する光伝送システムの一側を示す図である。
【図 31】温度係数に基づき分散補償量を変更する光伝送システムの一側を示す図である。
【図 32】分散可変補償器と受信側に配置した光伝送システムの一側を示す図である。
【図 33】分散可変補償器を送信部、受信部及び中継器に配置した光伝送システムの一側を示す図である。
【図 34】温度係数に基づき光増幅器の増幅度を変更する光伝送システムの一側を示す図である。

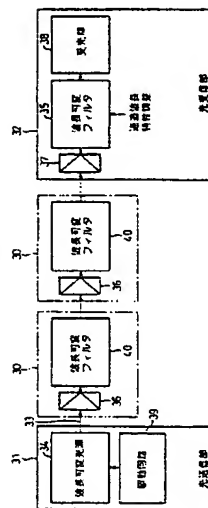
【図 35】温度係数に基づき、信号光波長、プリチャージパルス量、分散補償量、及び光増幅度を変更する光伝送システムの一側を示す図である。
【図 36】分散補償器を受信側に配置することにより非線形効果を軽減した光伝送システムの一側を示す図である。
【図 37】光伝送システムの一側を示す図である。
【図 38】分散補償器を送信側に配置した光伝送システムの一側を示す図である。
【図 39】光伝送システムの一側を示す図である。
【図 40】受信側に配置した分散補償器の補償量 D を正とした光伝送システムの一側を示す図である。
【図 41】受信側に配置した分散補償器の補償量 D を負とした光伝送システムの一側を示す図である。
【図 42】分散補償器の特性が互いに逆の分散補償器を送信部及び受信部に配置した光伝送システムの一側を示す図である。
【図 43】中継器にも分散補償器を配置した光伝送システムの一側を示す図である。
【図 44】分散補償器を配置し、さらに、伝送特性を測定して信号光波長を最適化する光伝送システムの一側を示す図である。
【図 45】分散補償器を送信側に配置した光伝送システムの一側を示す図である。
【図 46】分散補償器を送信部、受信部及び中継器に配置した光伝送システムの一側を示す図である。
【図 47】分散補償器を配置し、さらに、伝送特性を測定してプリチャージパルス量を最適に制御する光伝送システムの一側を示す図である。
【図 48】分散補償器を送信側に配置した光伝送システムの一側を示す図である。
【図 49】分散補償器を送信部、受信部、及び中継器に配置した光伝送システムの一側を示す図である。
【図 50】分散補償器を配置し、さらに、伝送特性を測定して信号光波長及びプリチャージパルス量を最適に制御する光伝送システムの一側を示す図である。
【図 51】分散補償器を送信側に配置した光伝送システムの一側を示す図である。
【図 52】分散補償器を送信部、受信部、及び中継器に配置した光伝送システムの一側を示す図である。
【図 53】光増幅中継器に波長変換器を配置した光伝送システムの一側を示す図である。
【図 54】送信部における波長も可変とした光伝送システムの一側を示す図である。
【図 55】波長変換器の一側としての波長変換レーザの断面図である。
【図 56】伝送特性を測定して各光増幅中継器間ごとに信号光波長を最適化する光伝送システムの一側を示す図である。
【図 57】さらに、分散補償器を配置した光伝送システム

ムの一側を示す図である。
【図 58】動作が適正であるときのドリフト補償回路の動作を説明する図である。
【図 59】動作が変動したときのドリフト補償回路の動作を説明する図である。
【図 60】動作が変動したときのドリフト補償回路の動作を説明する図である。
【図 61】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システムの一側を示すブロック図である。
【図 62】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システムの一側を示すブロック図である。
【図 63】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システムの一側を示すブロック図である。
【図 64】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システムの一側を示すブロック図である。
【図 65】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システムの一側を示すブロック図である。
【図 66】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システムの一側を示すブロック図である。
【図 67】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システムの一側を示すブロック図である。
【図 68】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システムの一側を示すブロック図である。
【図 69】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システムの一側を示すブロック図である。
【図 70】本発明のクロック抽出技術が適用される光時分割多重伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 71】図 70 のシステムの一側を示す図である。
【図 72】本発明のクロック抽出技術の説明するための波形図である。
【図 73】本発明のクロック抽出技術の他の例を説明するための波形図である。
【図 74】本発明の光伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 75】本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。
【図 76】本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。
【図 77】マフパツェンダ型光変調器の駆動電圧のバイアスを変更することによる出力光の強度の変更を説明する図である。
【図 78】マフパツェンダ型光変調器の駆動電圧のバイアスを変更することによる出力光の強度の変更を説明する図である。
【図 79】本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。
【図 80】本発明の光伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 81】本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。
【図 82】クロック抽出回路の詳細を示すブロック図である。
【図 83】本発明の光増幅器の一側を示すブロック図である。
【図 84】チャネル選択データを含む伝送データの形式の一側を示す図である。
【図 85】本発明の光増幅器の他の例を示すブロック図である。
【図 86】本発明の光増幅器の他の例を示すブロック図である。
【図 87】本発明の光増幅器の他の例を示すブロック図である。
【図 88】光遅延回路の一側を示す図である。
【図 89】本発明の光増幅器の他の例を示すブロック図である。
【図 90】光信号に多重化される低周波信号を示す図である。
【図 91】本発明の光増幅器の他の例を示すブロック図である。
【図 92】本発明の光増幅器の他の例を示すブロック図である。
【図 93】本発明の光増幅器の他の例を示すブロック図である。
【図 94】本発明の光伝送システムの一側を示すブロック図である。
【図 95】本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。
【図 96】順動回路 418、420 の詳細を示す図である。
【図 97】本発明のクロック位相安定化制御を行なう光増幅器を示すブロック図である。
【図 98】図 97 の回路の動作を説明するタイミングチャートである。
【図 99】位相差 θ を説明する図である。
【図 100】位相差 θ と f 、成分の強度との関係を示す図である。
【図 101】本発明の光増幅器の他の例を示す図である。
【図 102】本発明の光増幅器の他の例を示す図である。
【図 103】本発明の光増幅器の他の例を示す図である。
【図 104】図 103 の光増幅器において受信信号に重畳される低周波信号の一側を示す図である。
【図 105】本発明の光増幅器の他の例を示すブロック図である。
【図 106】タイミング再生部の詳細の一側を示すブロック図である。
【図 107】光多重化信号の一側の波形図である。

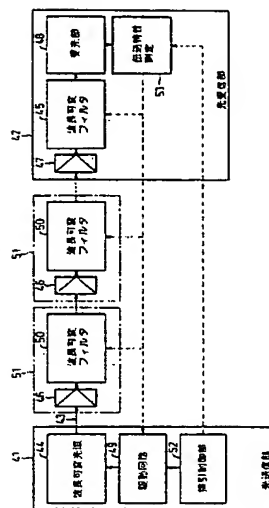
(図20)



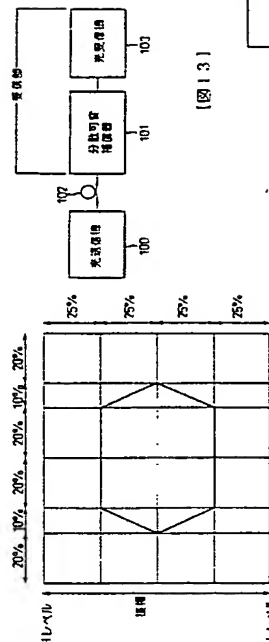
(図3)



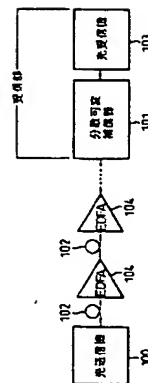
(図4)



(図12)



(図13)

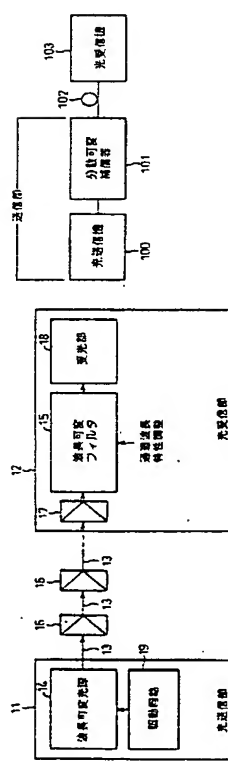


(図23)

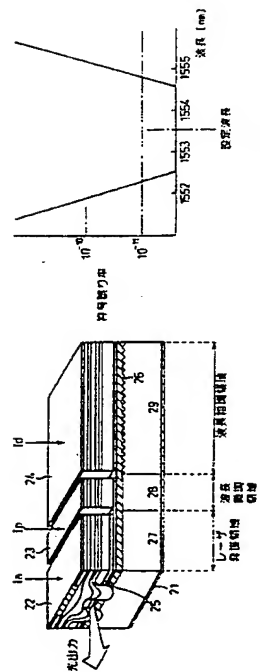


- (図108) 受光素子の特性の一例を示す図である。
 (図109) タイミング発生部の詳細の他の例を示すブロック図である。
 (図110) 光スイッチの詳細を示すブロック図である。
 (図111) 本発明の光受信機の他の例を示すブロック図である。
 (図112) 位相遅延に対する周波数伝達力値の関係を示す図である。
 (図113) 入力部アーム検出のための回路の一例を示す図である。
 (図114) 本発明の光受信機の他の例を示すブロック図である。
 (図115) 図8の回路の動作を説明するタイミング*

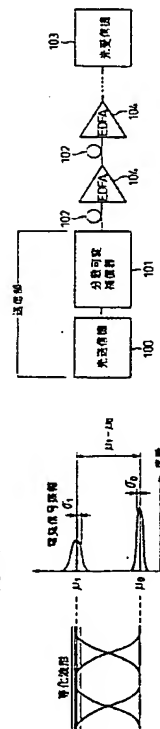
(図11)



(図5)

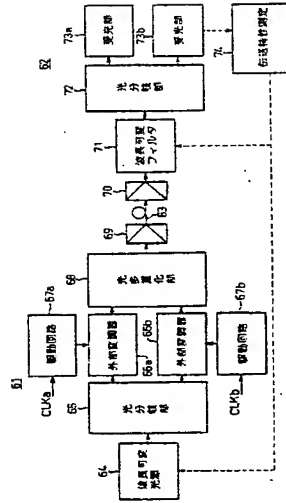


(図11)

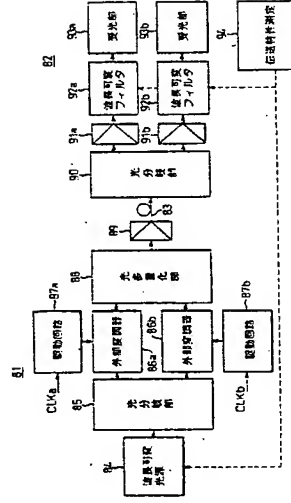


(31)

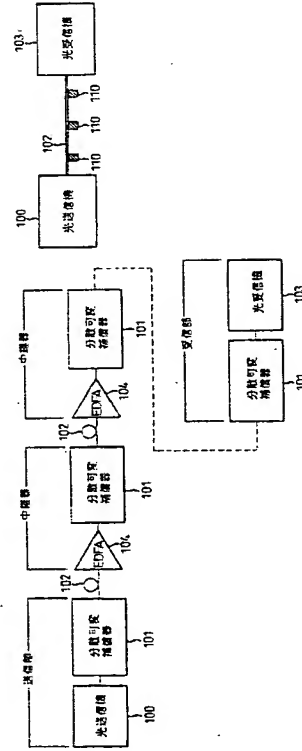
【図 8】



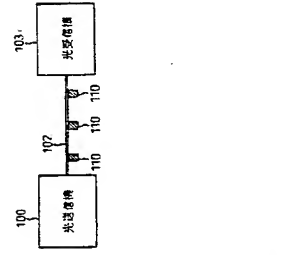
【図 9】



【図 14】

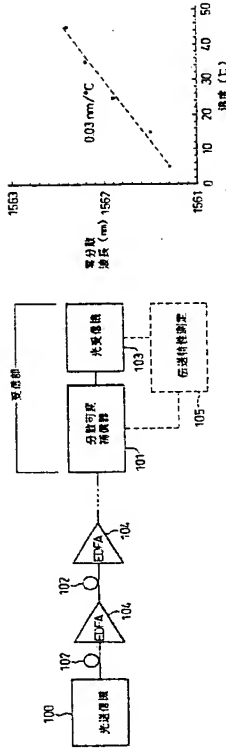


【図 26】

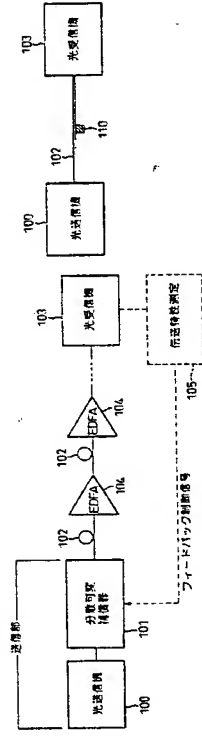


(32)

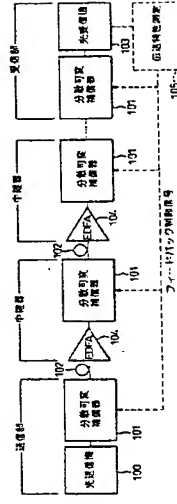
【図 15】



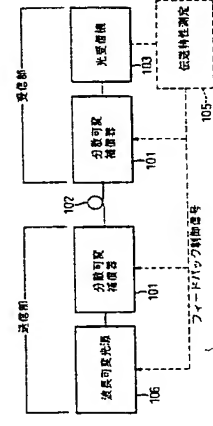
【図 16】



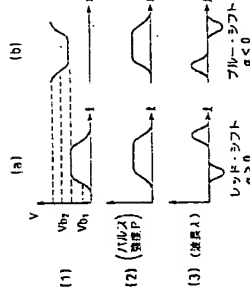
【図 17】



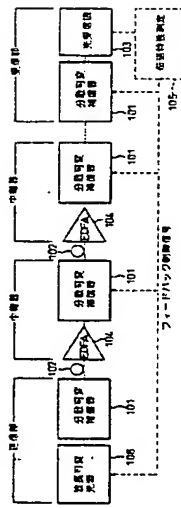
【図 18】



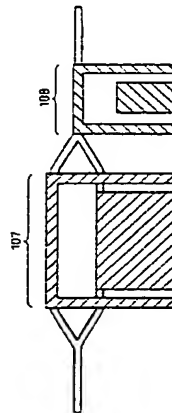
【図 21】



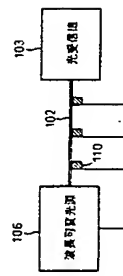
(図19)



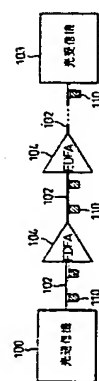
(図22)



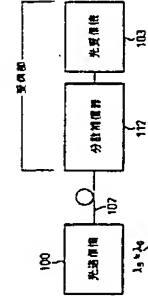
(図28)



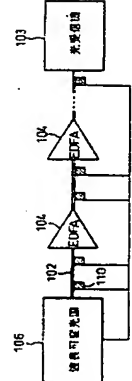
(図27)



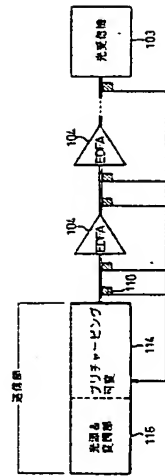
(図36)



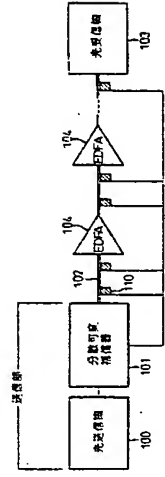
(図29)



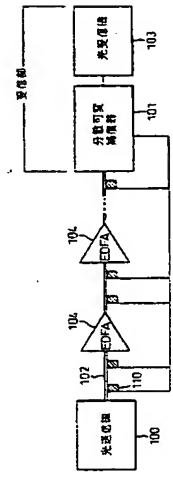
(図30)



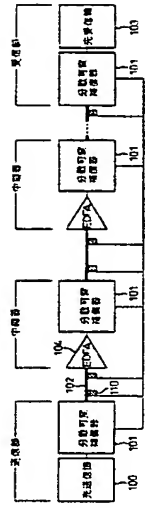
(図31)



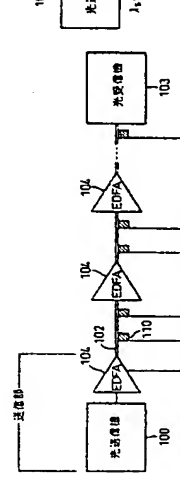
(図32)



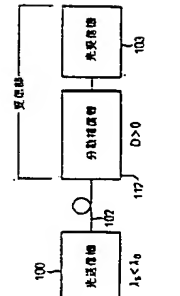
(図33)



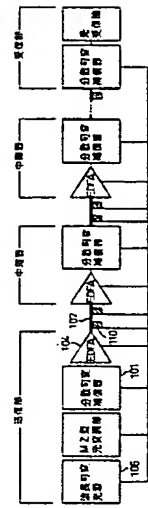
(図34)



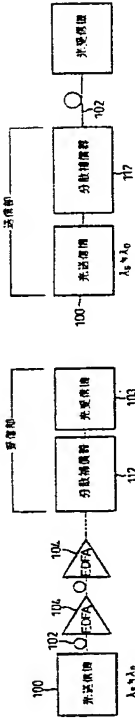
(図40)



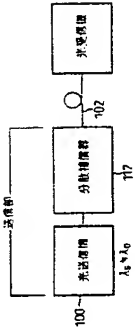
(図35)



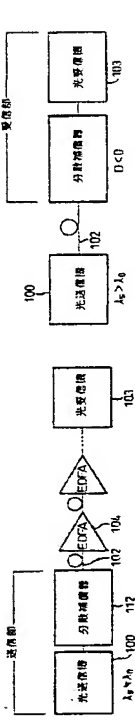
【図37】



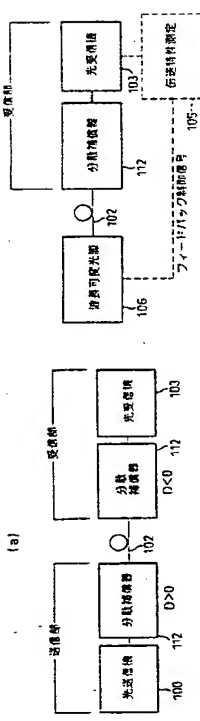
【図38】



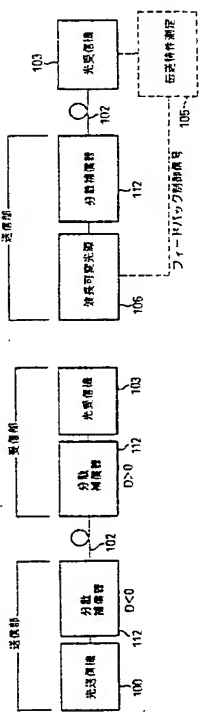
【図39】



【図42】

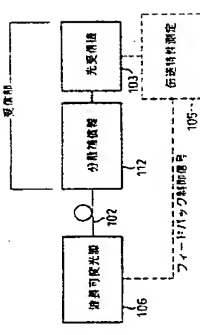


(b)

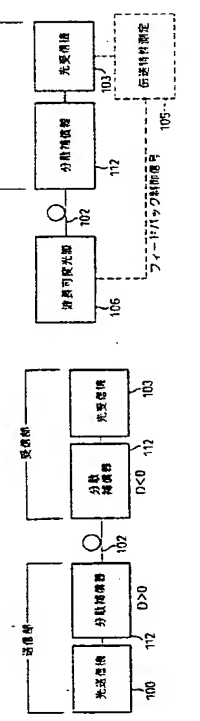


【図45】

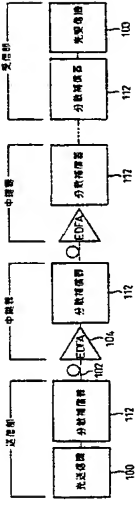
【図44】



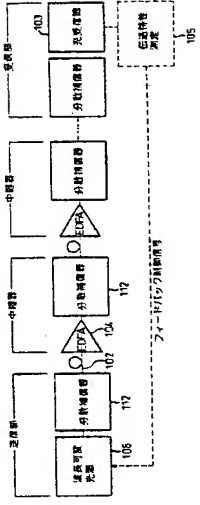
(a)



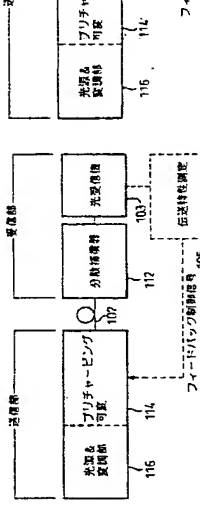
【図43】



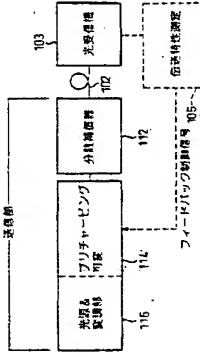
【図46】



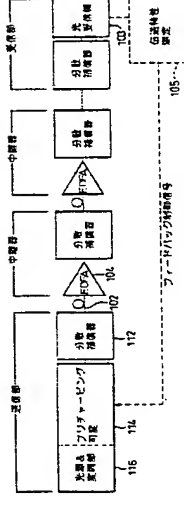
【図47】



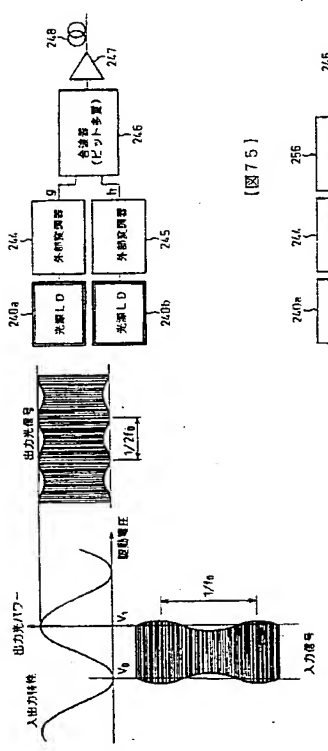
【図48】



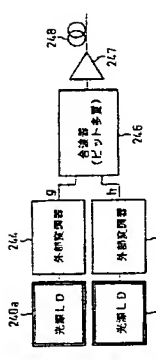
【図49】



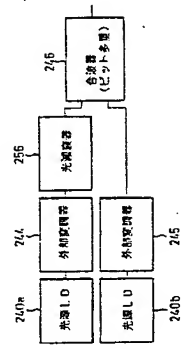
【図 58】



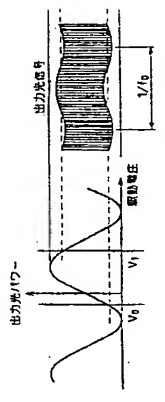
【図 74】



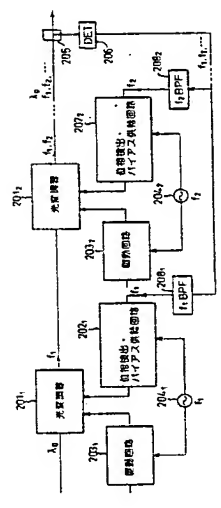
【図 75】



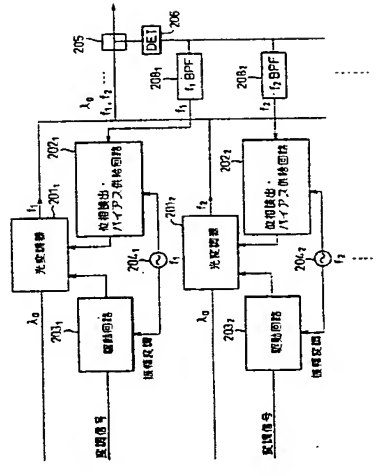
【図 60】



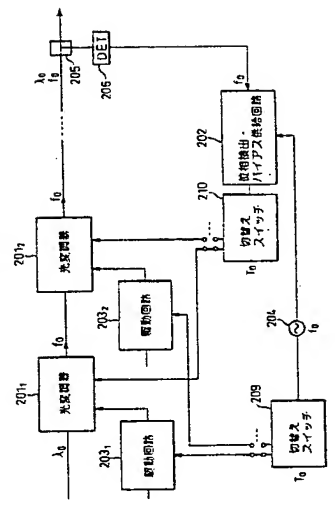
【図 63】



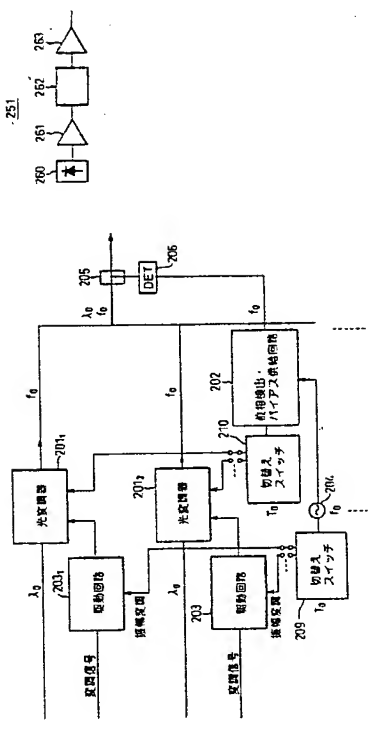
【図 61】



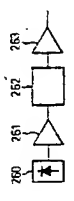
【図 64】



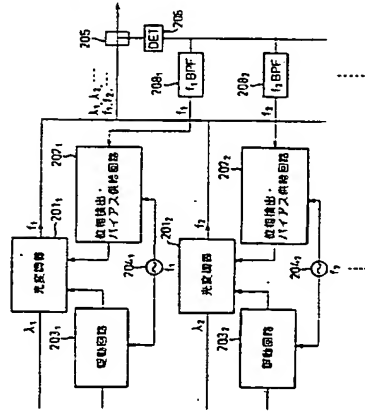
【図 62】



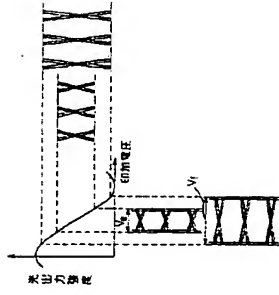
【図 82】



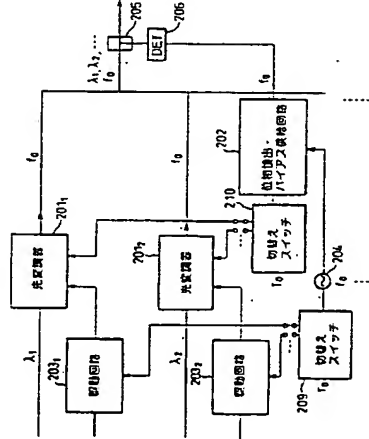
【図65】



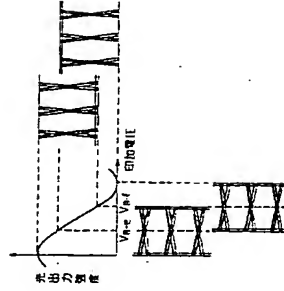
【図77】



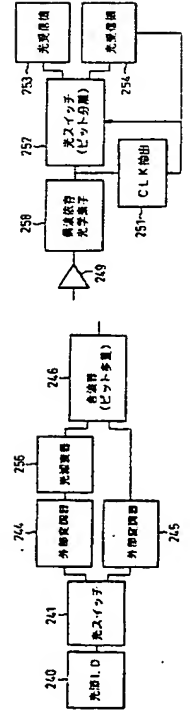
【図66】



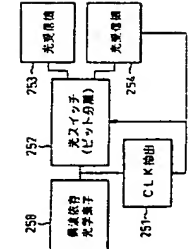
【図78】



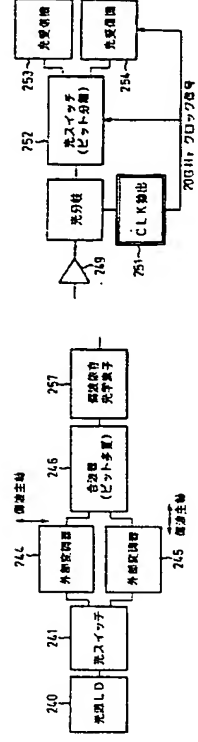
【図76】



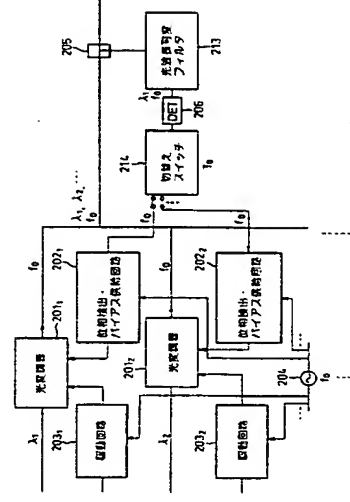
【図80】



【図79】



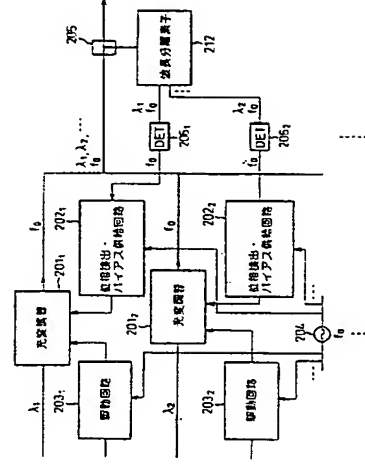
【図88】



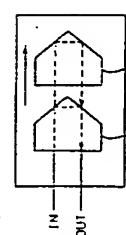
【図86】



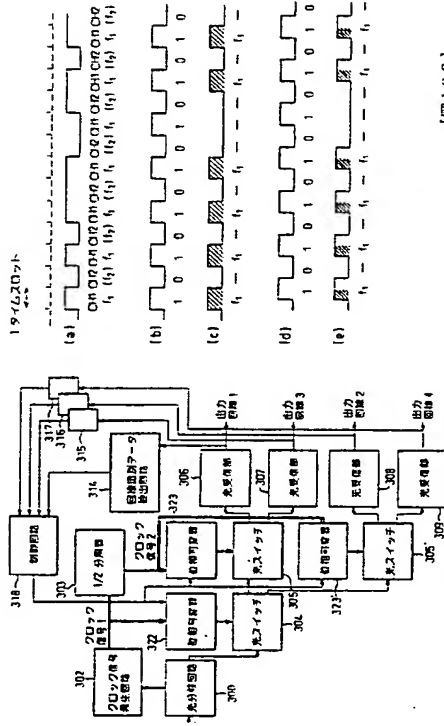
【図87】



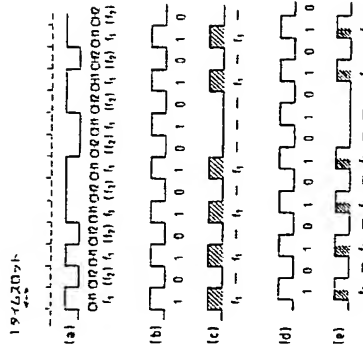
【図88】



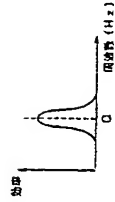
(図86)



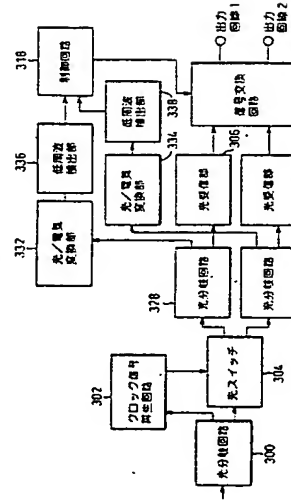
(図88)



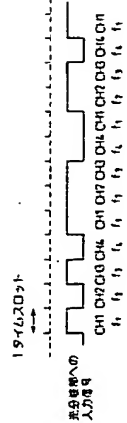
(図108)



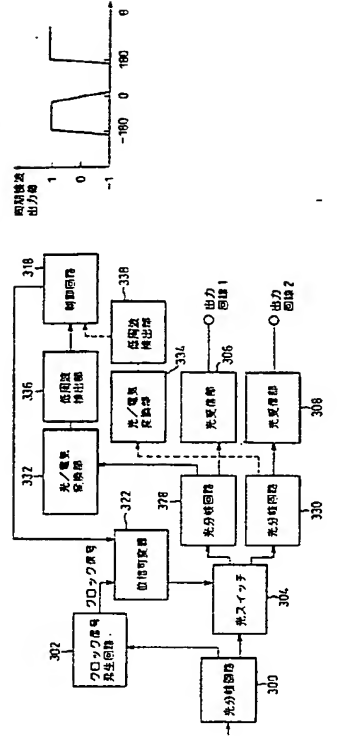
(図89)



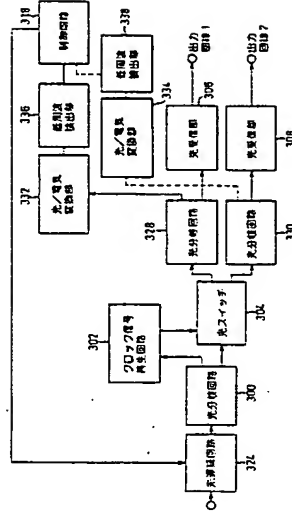
(図90)



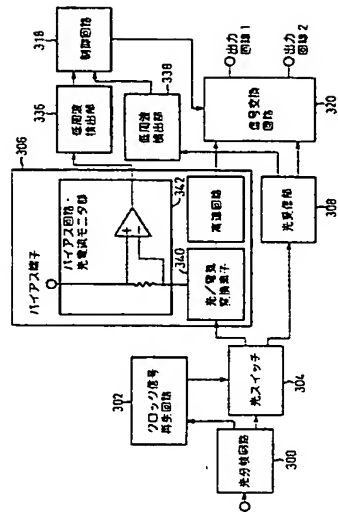
(図91)



(図92)

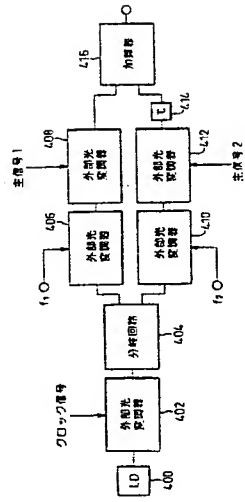


(図93)

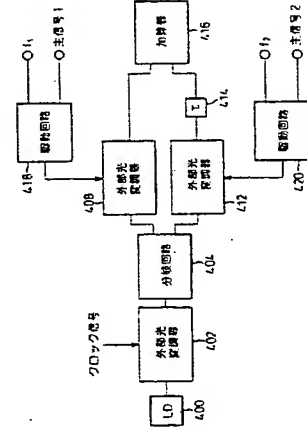


(47)

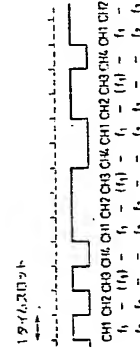
【図94】



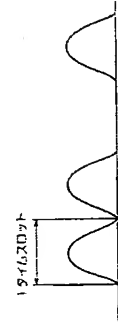
【図95】



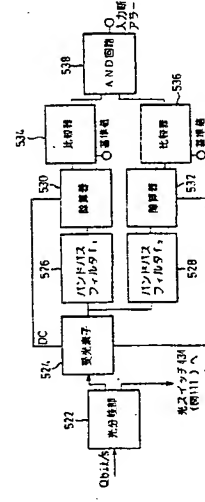
【図104】



【図107】

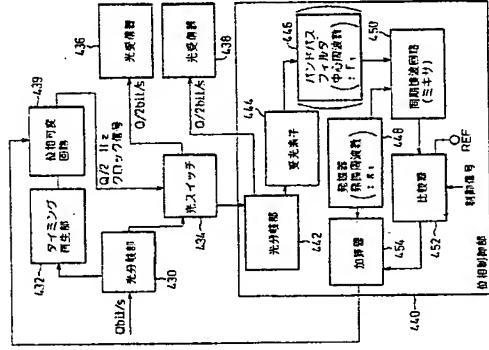


【図113】

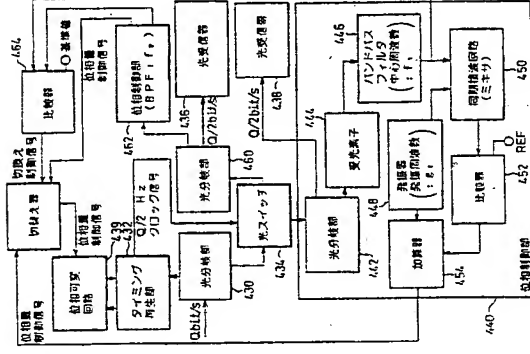


(48)

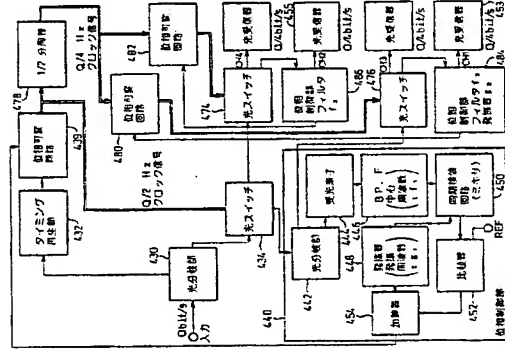
【図97】



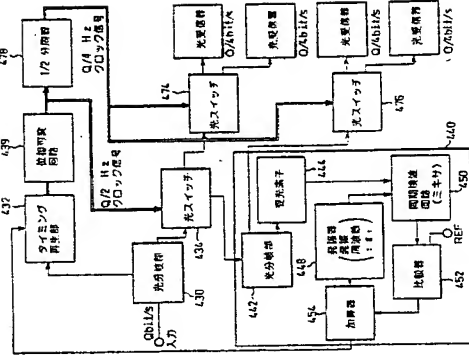
【図101】



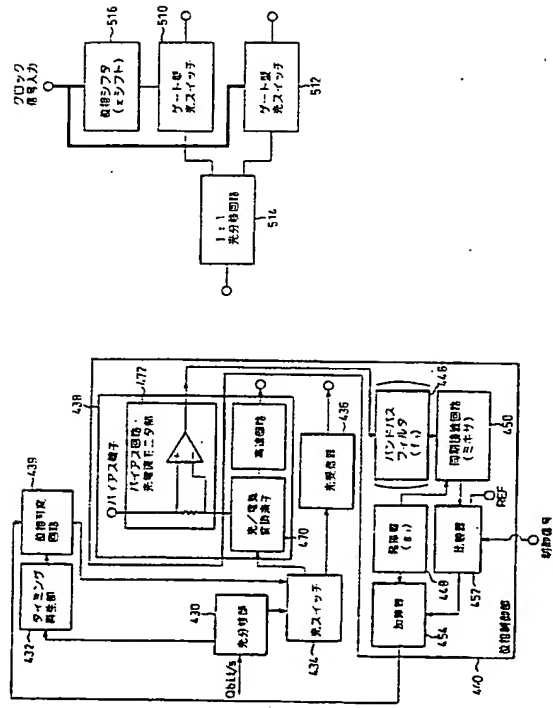
【図103】



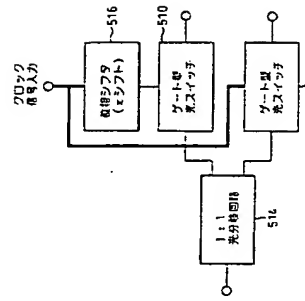
【図105】



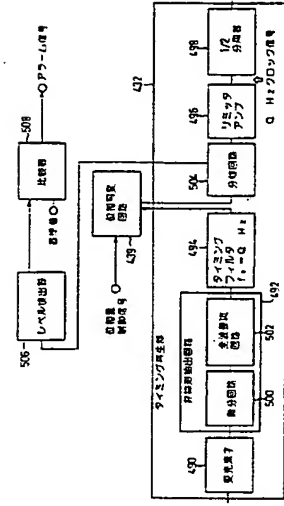
【図102】



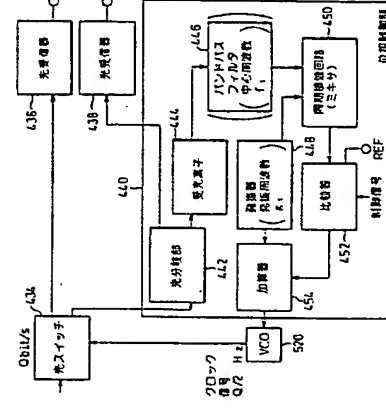
【図110】



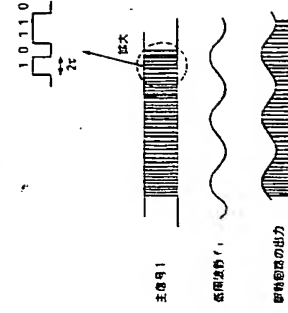
【図109】



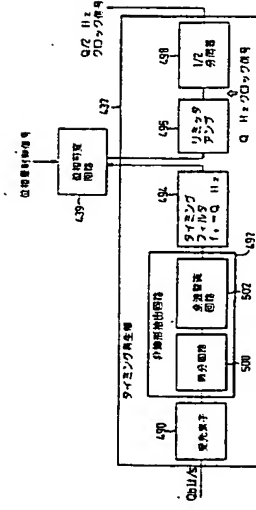
【図111】



【図120】



【図106】



【図116】

